

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT  
INSTITUT IUNR

## **Konzeptionierung und Potentialabschätzung von autarken Ladestationen für Elektroautos**

Bachelorarbeit

**von**

**Glauser Lukas**

Bachelorstudiengang 2016

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Abgabedatum: 08. August 2019

Korrektoren:

Hunziker Manuel, ZHAW Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen

Strebel Sven, ZHAW Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen

## Impressum

*Titelbild: Visualisierung einer autarken Ladestation in stationärer Ausführung (links) und mobiler Ausführung (rechts). Quellen: Eigene Grafik (2019), Fahrzeug: Brandon (2018).*

### *Schlagworte:*

Ladestation; Photovoltaik; Akku; Energiespeicher; Elektromobilität; Elektrofahrzeug, Parkplatz

### *Zitiervorschlag:*

Glauser, L. (2019). Konzeptionierung und Potentialabschätzung von autarken Ladestationen für Elektroautos.

### *Institut:*

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Departement Life Sciences und Facility Management

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Grüentalstrasse 14, Postfach

CH-8820 Wädenswil

## ZUSAMMENFASSUNG

In der Schweiz werden immer mehr Elektrofahrzeuge verkauft. Diese Fahrzeuge benötigen Ladestationen, die eine genügend gross dimensionierte Stromversorgung voraussetzen. Da viele Schweizerinnen und Schweizer in einem Mietverhältnis wohnen, ist die Installation einer Ladestation von der Vermieterin oder vom Vermieter abhängig. Als Alternative zu einer herkömmlichen Ladestation sind in dieser Arbeit das Potential von autarken Ladestationen untersucht und Konzepte solcher Ladestationen erarbeitet worden. Die autarken Ladestationen sollen den Tagesbedarf an elektrischer Energie (6.4 kWh bis 8.8 kWh), der von Elektroautos in der Schweiz benötigt wird, bereitstellen. Diese Energie soll in second-life Akkus gespeichert werden, um die Fahrzeuge auch in der Nacht aufladen zu können.

Mit einem Horizontmessgerät wurden Parkplätze in verschiedenen Wohnzonen vermessen und die nutzbare solare Strahlung eruiert. Ein Messaufbau, der über ein Pyranometer und mehrere Solarzellen verfügt, mass die Sonneneinstrahlung aus verschiedenen Richtungen und zeichnete diese auf. Durchschnittlich kann auf Parkplätzen mit 60 % der Sonnenstrahlung gerechnet werden. Davon fallen 37 % auf der horizontalen Fläche an.

Second-life Akkus werden in Zukunft in grossen Mengen verfügbar sein, jedoch in verschiedenen Bauformen und chemischen Zusammensetzungen. Die zylindrischen Zellen, welche unter anderem von Tesla verwendet werden, machen in der Schweiz den grössten Anteil aus. Wann diese Zellen für eine zweite Anwendung verfügbar sein werden, ist unklar.

Die konzeptionierten, autarken Ladestationen sind als mobile Version in Form eines Autoanhängers und als stationäre Version als Carport geplant. Die über die Photovoltaik-Module generierte Energie wird in second-life Akkus gespeichert, welche durch die, aus dem Verkehr genommenen, elektrischen Fahrzeuge in Zukunft anfallen. Je nach Konzept können im Frühling, Sommer und Herbst pro Tag zwischen 2.1 kWh und 2.6 kWh generiert werden. An 85 % der Tage in diesem Zeitraum können bis zu 4.2 kWh produziert werden.

Die Ergebnisse der Horizontaufnahmen weichen von den Sonneneinstrahlungsergebnissen ab. Dies, weil bei den Horizontaufnahmen davon ausgegangen wird, dass bei einer Verschattung keine Energie produziert wird. Die Sonneneinstrahlungs-Messungen zeigen jedoch, dass auch bei einer Verschattung Energie produziert wird. Zudem wurden die Horizontaufnahmen auf einer Höhe von einem Meter über Boden durchgeführt, während die Solarmodule der Konzepte bis vier Meter über Boden sind. Durch diesen Höhenunterschied ändern sich die Verschattungen.

Mit den Ladestationen könnte, je nach Standort und Fahrzeug, ein kleinerer oder grösserer Teil des Energiebedarfs gedeckt werden. Dieser Anteil könnte in Zukunft grösser werden, indem die Effizienz der Fahrzeuge steigt und der Wirkungsgrad von Photovoltaikmodulen höher wird.

## ABSTRACT

In Switzerland, the numbers of electric vehicles sold is increasing. These vehicles have to be charged with electrical energy via a charging station. Such charging stations require a large power supply, which can lead to high investments. Because many swiss people lives in a tenancy agreement, they cannot install on their own initiative a charging station. As an alternate to a conventional charging station, the potential of a self-sufficient charging station has been investigated in this paper. Concepts where also developed. These self-sufficient charging stations should produce the day requirement of electrical energy in the amount of 6.4 kWh to 8.8 kWh. This quantity is used by electrical cars in Switzerland. The energy should be stored in second-life batteries so that the cars can be charged by night.

The usable solar radiation on parking lots in different residential zones were measured with a shade measurement tool. A measurement setup with a pyranometer and several solar cells measured the solar radiation from different directions and recorded it. On average 60 % of the solar radiation is available on parking lots. 37 % of this radiation falls on the horizontal surface.

In the future a large amount of second life batteries in different forms and compositions will be available. The largest proportion will be made up of cylindrical battery-cells, which are used by Tesla. It is unclear when these batteries will be available for a second life.

There are two kind of conceptualized self-sufficient charging stations. A mobile concept in form of a trailer and a stationary concept as a carport. The energy from the photovoltaic modules will be stored in second-life batteries from used cars. Depending on the concept can be produces between 2.1 kWh and 2.6 kWh electrical energy in a period from spring to autumn. On 85 % of these days up to 4.2 kWh can be produced.

The results of the shade measurement deviate from the solar radiation results. The reason lies in the shade measurement. These assume that no energy is produced during shading, but the solar radiation measurements do show that little energy can still be produced by shadow. The shade measurement was also taken one meter above the ground, while the solar modules of the concepts are almost four meters above the ground. This difference in height changes the shading, which is caused, for example, by a hedge.

Vehicles can be charged with the self-sufficient charging stations. The amount of energy varies depending on the location and can cover different parts of the consumption. These parts could increase in the future as efficiency of the vehicles and the photovoltaic modules increase.



## INHALTSVERZEICHNIS

Liste der Abkürzungen .....	3
1 Einleitung .....	4
2 Theoretischer Hintergrund .....	7
2.1 Aussenparkplätze bei Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern .....	7
2.1.1 Wohnsituation in der Schweiz .....	7
2.1.2 Parkplätze in der Schweiz .....	8
2.2 Messen der Sonneneinstrahlung .....	8
2.2.1 Halbleitersensoren .....	10
2.2.2 Thermische Sensoren .....	10
2.3 Baurechtliche Aspekte .....	10
2.3.1 Elektrotechnische Anforderungen .....	11
2.3.2 Statische Anforderungen .....	11
2.3.3 Baubewilligungen .....	12
2.4 Verfügbarkeit von second-life Akkus .....	12
2.4.1 Bauformen der Lithium-Akkus .....	13
2.4.2 Elektrofahrzeuge in der Schweiz .....	14
2.4.3 Lebensdauer der Lithium-Akkus .....	14
2.5 Energieverbrauch der Elektrofahrzeuge .....	14
3 Material und Methoden .....	16
3.1 Standortauswahl .....	16
3.2 Vermessung der Parkplätze .....	17
3.3 Messaufbau zur Messung der Sonneneinstrahlung .....	19
3.3.1 Sensoren .....	20
3.3.2 Datenlogger .....	21
3.3.3 Messwiderstand .....	21

---

3.3.4	Verschaltung .....	22
3.4	Ungenauigkeiten.....	24
4	Ergebnisse.....	25
4.1	Messergebnisse .....	25
4.1.1	Horizontmessungen .....	25
4.1.2	Einstrahlungsmessungen .....	27
4.2	Second-life Akkus .....	31
4.3	Konzepte .....	33
4.3.1	Konzept Mobil.....	35
4.3.2	Konzept Stationär .....	39
5	Diskussion .....	46
6	Literatur.....	51
	Abbildungsverzeichnis .....	59
	Tabellenverzeichnis .....	61
	Formelverzeichnis.....	62
	Anhang.....	A-1

---

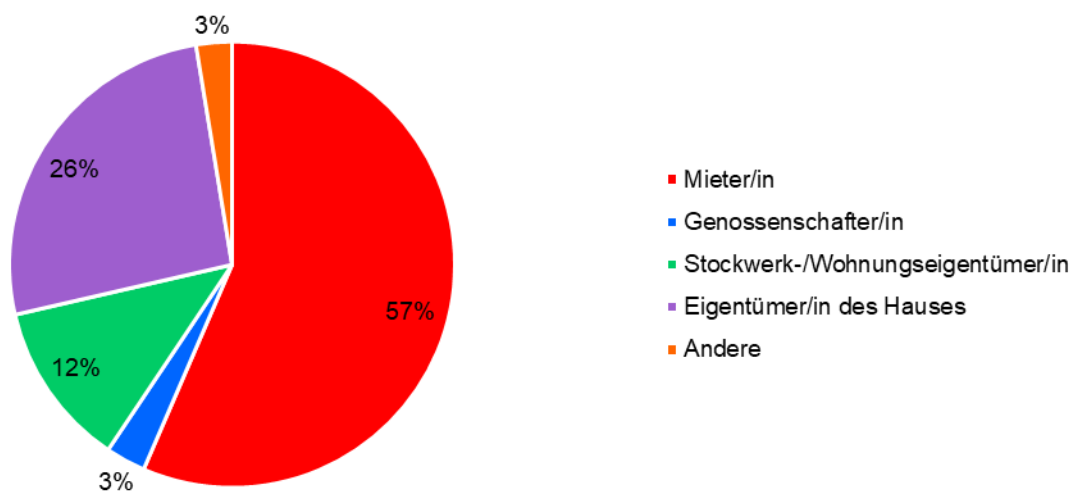
## LISTE DER ABKÜRZUNGEN

ANOVA	Analysis of Variance
EHF	Einfamilienhaus
LIB	Lithium-Ionen-Batterie
MFH	Mehrfamilienhaus
NEFZ	New European Driving Cycle
NIN	Niederspannung-Installationsnorm
pkm	Personenkilometer
PV	Photovoltaik
REFH	Reiheneinfamilienhaus
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
UBP	Umweltbelastungspunkte
WMO	World Meteorological Organization

## 1 EINLEITUNG

Die Mobilität ist im Umbruch. Die Otto- und Dieselmotoren werden durch Elektromotoren abgelöst und immer mehr Elektroautos kommen auf den Markt. Laut de Haan, Bianchetti, Rosser, Märki und Erny (2018) befindet sich die Marktentwicklung der Elektroautos in der Schweiz in der Pionierphase. Bis 2035 sollen laut den Autoren knapp 60% der Neuwagen in der Schweiz Elektrofahrzeuge sein, womit der Anteil an Elektrofahrzeugen im Flottenbestand stetig wächst.

Während die herkömmlichen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in wenigen Minuten an einer Zapfsäule getankt werden, sind die Elektrofahrzeuge auf eine Steckdose angewiesen. Diese Tatsache kann zum Problem werden, wenn die Wohnverhältnisse der Schweiz (Abbildung 1) betrachtet werden.



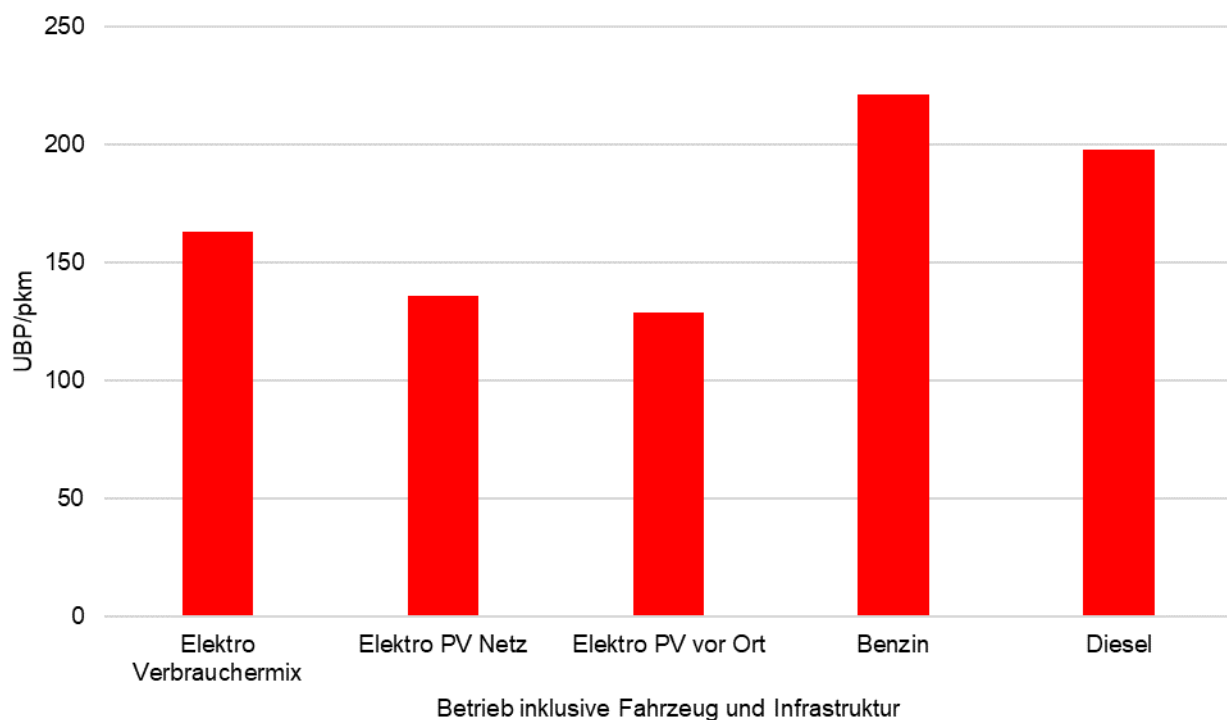
**Abbildung 1: Die Bewohnertypen der bewohnten Wohnungen in der Schweiz aus dem Jahr 2017.**  
Quelle: Bundesamt für Statistik (2017a).

Drei Viertel der Schweizer Bevölkerung sind nicht Eigentümer und Eigentümerinnen ihres Hauses, sondern Mieter und Mieterinnen oder Stockwerk-/Wohnungseigentümer/-innen. Da die Steckdosen in Parkplatznähe oft nicht zur Mietwohnung gehören, können an diesen auf Grund der fehlenden Stromkostenabrechnung keine Fahrzeuge aufgeladen werden.

Die Problematik von fehlenden Lademöglichkeiten von Elektrofahrzeugen für Mieter und Mieterinnen wird sich in Zukunft nicht sehr schnell ändern. Dies zum einen, weil das Nachrüsten einer Ladeinfrastruktur mit Kosten verbunden ist, dem Vermieter aber keinen direkten Mehrwert generiert, zum anderen ist die Renovationsrate der Häuser in der Schweiz mit unter einem Prozent (Huber, 2018) viel tiefer, als die Erneuerungsrate der Schweizer Fahrzeugflotte mit 7.5% (de Haan et al., 2018). Da sich die Fahrzeugflotte schneller erneuert, als die Häuser renoviert werden, nehmen die

Elektrofahrzeuge deutlich stärker zu, als die Ladestationen bei privaten Parkplätzen und Tiefgaragen ausgebaut werden können. Mieter/innen müssen daher alternative Möglichkeiten haben, um ihre Elektrofahrzeuge zu Hause zu laden.

Ein Elektrofahrzeug sollte in Hinsicht auf die Gesamtumweltbelastung mit elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen aufgeladen werden. Ein Vergleich (Abbildung 2) zwischen der Fortbewegung mit einem Elektrofahrzeug, welches mit Schweizer Strommix betrieben wird und einem, welches mit reinem Solarstrom aus dem Netz betrieben wird, zeigt eine Differenz der Gesamtumweltbelastung. Wird der Solarstrom vor Ort produziert, ist dies noch umweltfreundlicher. Zum Vergleich weisen die Fahrzeuge mit Ottomotor und Dieselmotor eine deutlich höhere Umweltbelastung auf (KBOB, 2016).



**Abbildung 2: Vergleich der Auswirkung der Fortbewegung mit verschiedenen Antriebssystemen pro Personenkilometer (pkm). Die Gesamtumweltbelastung in Umweltbelastungspunkten (UBP) ist nach der Methode der ökologischen Knappheit berechnet. Quelle: KBOB (2016).**

In dieser Arbeit soll geprüft werden, ob eine autarke Ladestation vor Ort genügend Solarenergie produzieren kann, um Elektrofahrzeuge aufzuladen. Dazu dienen folgende Zielsetzungen:

- Um die Verschattungen auf Parkplätzen zu dimensionieren, sollen Horizontaufnahmen an 30 Parkplätzen erstellt werden, welche verschiedene Wohnsituationen berücksichtigen. Mit Hilfe dieser Ergebnisse sollen Kategorien erstellt werden, mit welchen andere Parkplätze eingeordnet werden können.

- An drei Parkplätzen soll mit Hilfe eines Messaufbaus die Solarstrahlung aus verschiedenen Himmelsrichtungen während je fünf Tagen gemessen werden. Die Resultate sollen mit MeteoSchweiz-Daten verallgemeinert werden.
- Damit die Elektrofahrzeuge unabhängig von der Tageszeit und Solarstrahlung aufgeladen werden können, soll die Verfügbarkeit und Einsatzmöglichkeit von second-life Akkus untersucht werden.
- Zusätzlich sollen technische und wirtschaftliche Aspekte sowie baurechtliche Bedingungen aufgezeigt werden und eine Möglichkeit für eine verursachergerechte Abrechnung berücksichtigt werden.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen sollen Konzepte für autarke Ladestationen erstellt werden.

## 2 THEORETISCHER HINTERGRUND

In diesem Kapitel werden die Gegebenheiten recherchiert, die für den Versuchsaufbau, mit welchem die Solarstrahlung auf Parkplätzen gemessen werden kann (Kapitel 3.3) benötigt werden. Zudem soll dieses Kapitel Grundlagen aufzeigen, welche für das Gesamtkonzept einer autarken Ladestation in Kapitel 4.3 von Bedeutung sind.

### 2.1 AUSSENPAKPLÄTZE BEI EINFAMILIEN- UND MEHRFAMILIENHÄUSERN

Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Wohnsituation in der Schweiz. Es soll aufzeigen, wo die durchschnittlichen Schweizer und Schweizerinnen leben und wie deren Parkplatzsituation ist. Diese Parkplätze sollen mit Hilfe von Horizontaufnahmen vermessen werden und so wichtige Erkenntnisse über die Verschattung gewonnen werden, um das Potential der Stromproduktion vor Ort zu berechnen (Kapitel 3.2 und 4.1).

#### 2.1.1 WOHSITUATION IN DER SCHWEIZ

In der Schweiz sind über die Hälfte der Häuser Einfamilienhäuser, welche zum grossen Teil zwei oder drei Geschosse haben. Die meisten Mehrfamilienhäuser weisen in der Schweiz weniger als vier Stockwerke auf (Bundesamt für Statistik, 2018a). Wie in der Abbildung 1 in der Einleitung ersichtlich, sind zirka  $\frac{1}{4}$  der Schweizer Eigentümer/innen des Hauses, die anderen  $\frac{3}{4}$  sind Mieter/innen, Genossenschafter/innen oder Stockwerk-/Wohnungseigentümer/innen. Die Wohngebiete sind kantonal in verschiedene Zonen aufgeteilt. Im Kanton Zürich sind dies Wohnzonen und Mischzonen. Diese sind nach Gebäudehöhe und Nutzungsdichte weiter unterteilt (Quartieranalyse, GIS-ZH, 2018). In Tabelle 1 ist die Wohnzonenaufteilung ersichtlich. Pro Einwohner/in steht in der Schweiz eine Nutzfläche von 181 m<sup>2</sup> zur Verfügung, das ergibt eine durchschnittliche Nutzungsdichte von 55 Personen pro Hektare (Giezendanner & Maurer Weisbrod, 2017, S. 17). Somit befindet sich der Durchschnitt der Personen, welche in Einfamilienhäuser wohnen in den Wohnzonen W2 und die Bewohner/innen von Mehrfamilienhäusern in den Wohnzonen W2 und W3 mit einer Nutzungsdichte von durchschnittlich 55 Personen pro Hektare.

**Tabelle 1: Einteilung der Wohngebiete in der Quartieranalyse des Kantons Zürich nach der Nutzungsdichte in Personen pro Hektare. Quelle: Quartieranalyse, GIS-ZH (2018).**

Nutzungsdichte [Personen/ha]	Wohnzonen W1/W2	Wohnzonen W3 und höher
	<25	<100
	25-50	100-150
	50-100	150-250
	>100	>250

### 2.1.2 PARKPLÄTZE IN DER SCHWEIZ

In der Schweiz gab es laut Bundesamt für Statistik (2018b) 64 km<sup>2</sup> Parkplatzareal im Jahr 2004. Da die Parkplatzflächen mit Hilfe von Satellitenbildern bestimmt wurden, sind in dieser Flächenzahl lediglich die Aussenparkplätze enthalten. Diese Fläche entspricht 5,1 Millionen Parkplätze mit einer Grösse von fünf Meter Länge und 2,5 Meter Breite (Häne, 2015).

Laut der Schweizerischen Depeschenagentur (2014) gibt es in der Schweiz pro 1000 Autos 83 öffentliche Parkplätze. Im Jahr 2014 waren in der Schweiz 4,384 Millionen Personenwagen eingelöst (Bundesamt für Statistik, 2019), womit sich die Anzahl der öffentlichen Parkplätze um 364'000 Stück belief. Daraus lässt sich ableiten, dass mindestens 4,7 Millionen Parkplätze privat sind und sich im Aussenbereich befinden.

Da innerhalb dieser Arbeit nicht alle Parkplätze untersucht werden können, sollen 30 Parkplätze, welche bei Schweizer/innen zu Hause angesiedelt sind, erfasst und vermessen werden. Davon werden 15 Parkplätze bei Einfamilienhäusern und 15 Parkplätze bei Mehrfamilienhäusern untersucht.

## 2.2 MESSEN DER SONNENEINSTRALUNG

Die Globalstrahlung kann durch verschiedene Messmethoden bestimmt werden. Grob lassen sich die Methoden in zwei Kategorien einteilen: Satellitenmessungen und Bodenmessungen (Quaschnig, Geuder & Ortmanns, 2002). Bei den Satellitenmessungen werden die auf Satellitenbildern ersichtlichen Störfaktoren wie beispielsweise Bewölkung ausgewertet. Um die Globalstrahlung zu berechnen wird die extraterrestrische Solarstrahlung als Basiswert verwendet, von welchem der Strahlungsverlust durch die Störfaktoren abgezogen wird. Der Vorteil dieser Messmethode liegt in der grossen Messfläche, die damit abgedeckt wird. Da es sich aber bei



Satellitenbildern um Momentaufnahmen handelt und jedes Bild bei der Berechnung einen gewissen Zeitraum abdeckt, in welchem sich die Bewölkung möglicherweise verändert hat, entstehen Abweichungen. Bei längerfristiger Betrachtung erwiesen sich diese Abweichungen jedoch als nicht signifikant (Quaschnig et al., 2002).

Bodenmessungen werden mit Messinstrumenten durchgeführt. Diese messen im Gegensatz zu den Satellitenmessungen einen genauen Punkt und bilden Mittelwerte über eine Zeit. Für diese Messungen haben sich zwei Arten von Sensoren durchgesetzt. Zum einen die Halbleitersensoren, welche wie eine Solarzelle den Photoeffekt nutzen, zum anderen die thermischen Sensoren, bei welchen ein Thermoelement ein Spannungssignal generiert (Quaschnig et al., 2002). Die Messgenauigkeit der verschiedenen Sensoren ist sehr unterschiedlich und wird durch Normen wie die ISO 9060 oder den Guide der World Meteorological Organization (WMO) kategorisiert. In Tabelle 2 sind die Klassifizierungen und Anforderungen an Pyranometer nach ISO und WMO ersichtlich.

**Tabelle 2: Anforderungen an Pyranometer nach ISO und WMO Quellen: GeoDesign Internacional (2016), Quaschnig et al. (2002).**

	Institution	Klasse		
Pyranometerkategorie	ISO	secondary standard	first class	second class
	WMO	Hohe Qualität	Gute Qualität	Moderate Qualität
Ansprechzeit auf 95% des Endwerts	ISO und WMO	< 15 sec	< 30 sec	< 60 sec
Nullpunktfehler: Antwort auf 200 W/m <sup>2</sup> thermische Strahlung (belüftet)	ISO und WMO	7 W/m <sup>2</sup>	15 W/m <sup>2</sup>	30 W/m <sup>2</sup>
Nullpunktfehler: Antwort auf 5 K/h Umgebungstemperatur	ISO und WMO	+/- 2 W/m <sup>2</sup>	+/- 4 W/m <sup>2</sup>	+/- 8 W/m <sup>2</sup>
Auflösung (die kleinste Änderung welche erfasst wird)	WMO	+/- 1 W/m <sup>2</sup>	+/- 5 W/m <sup>2</sup>	+/- 10 W/m <sup>2</sup>
Nichtstabilität (Abweichung pro Jahr)	ISO und WMO	+/- 0.8%	+/- 1.5%	+/- 3%
Nichtlinearität (Abweichung bezogen auf 1000 W/m <sup>2</sup> )	ISO und WMO	+/- 0.5%	+/- 1%	+/- 3%
Richtungseinfluss	ISO und WMO	+/- 10 W/m <sup>2</sup>	+/- 20 W/m <sup>2</sup>	+/- 30 W/m <sup>2</sup>
Abweichung der spektralen Empfindlichkeit	ISO (0.35 – 1.5 µm)	+/- 3%	+/- 5%	+/- 10%
	WMO (0.30 – 3.0 µm)	+/- 2%	+/- 5%	+/- 10%

Temperatureinfluss über einen Temperaturbereich von 50°C	ISO und WMO	+/- 2%	+/- 5%	+/- 8%
Neigungswinkeleinfluss über einen Winkelbereich von 0° bis 90°	ISO und WMO	+/- 0.5%	+/- 2%	+/- 5%
Erwartete Genauigkeit (95% Konfidenzniveau)	WMO (Stundensummen)	3%	8%	20%
	WMO (Tagessummen)	2%	5%	10%

In den folgenden Unterkapiteln werden die beiden häufigsten Sensorarten und deren Messtechnik genauer beschrieben.

### 2.2.1 HALBLEITERSENSOREN

Die Halbleitersensoren funktionieren wie die herkömmlichen Solarzellen. Meist bestehen diese aus Silizium und generieren einen Kurzschlussstrom, welcher proportional mit der Einstrahlungsstärke ansteigt (Quaschnig, 2015, S. 92). Mit einem niederohmigen Messwiderstand wird aus dem Strom des Sensors ein Spannungssignal generiert. Laut Quaschnig (2015) reagieren die Halbleitersensoren empfindlich auf Temperaturänderungen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass bei Messungen auch die Sensortemperatur berücksichtigt wird und die Messwerte anhand der Temperaturen korrigiert werden.

### 2.2.2 THERMISCHE SENSOREN

Die thermischen Sensoren, zu welchen die Pyranometer gehören, messen die Sonneneinstrahlung mit Hilfe eines Thermometers. Dazu wird eine schwarze Oberfläche unter einer vakuumgedämmten Glaskuppel verwendet, welche die Sonnenstrahlung absorbiert. Die schwarze Oberfläche erwärmt sich dabei. Eine Referenzfläche, die nicht der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, befindet sich ausserhalb der Glaskuppel. Gemessen wird die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Flächen. Die Temperatur der schwarzen Fläche nimmt proportional zur Einstrahlung zu. Diese Art von Sensoren weisen laut Polo, Martín-Pomares & Sanfilippo (2019) eine gute Linearität auf und könne sehr genau sein.

## 2.3 BAURECHTLICHE ASPEKTE

In diesem Unterkapitel werden rechtliche Aspekte und einzuhaltende Normen erläutert, welche für die Planung einer autarken Ladestation von Bedeutung sind. Diese sind in elektrotechnische und statische Anforderungen unterteilt.

### 2.3.1 ELEKTROTECHNISCHE ANFORDERUNGEN

Regeln für die Planung von elektrischen Anlagen sind in der Niederspannung-Installationsnorm (NIN) aufgeführt. In Kapitel 7.12 der NIN werden die Normen zu Photovoltaik-Stromversorgungssystemen behandelt. Darunter fallen unter anderem die Schutzmassnahmen gegen elektrischen Schlag, Überstrom- und Überspannungsschutz sowie die Auswahl der elektrischen Betriebsmittel. Da Photovoltaik (PV)-Module bei Einstrahlung eine Spannung generieren und nicht ein- oder ausgeschaltet werden können, müssen nach NIN Möglichkeiten zur Trennung des Stromkreises verbaut werden. Anforderungen an Erdung und Schutzleiter sind in NIN Kapitel 5.4 erläutert. (Electrosuisse, 2015)

Die Stromversorgung für Elektrofahrzeuge ist im Kapitel 7.22 der NIN geregelt, welches unter anderem Schutzmassnahmen und die Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel beinhaltet (Electrosuisse, 2015).

Bei elektrischen Anlagen auf Fahrzeugen (auch Anhänger) müssen zusätzlich die Bestimmungen der NIN Kapitel 7.17 beachtet werden. Dieses Kapitel enthält Schutzmassnahmen und Vorgaben zur Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel (Electrosuisse, 2015).

### 2.3.2 STATISCHE ANFORDERUNGEN

Die Einwirkungen auf Bauwerke werden in der Schweiz durch die SIA-Norm 261 behandelt. Neben weiteren Einwirkungen gibt es Schnee und Wind, die auf eine potentielle Ladestation einwirken.

Die Schneelast ( $S_k$ ) richtet sich laut SIA Zürich (2014) nach der Grösse und Form des Bauwerks, dem Klima, der Topografie und dem Standort. Auf horizontalem Gelände sieht die Berechnung wie folgt aus (Formel 1):

**Formel 1: Berechnung der Schneelast auf einem horizontalen Gelände nach SIA Zürich (2014)**

$$S_k = \left[ 1 + \left( \frac{h_0}{350} \right)^2 \right] 0.4 \frac{kN}{m^2} \geq 0.9 \frac{kN}{m^2}$$

$h_0$  beschreibt die Meereshöhe des Standorts mit einem regional unterschiedlichen Zuschlag. Im Mittelland beträgt dieser Zuschlag oft 0, in den Voralpen 200 m bis zu 500 m.

Die Einwirkungen durch den Wind lassen sich mit der folgenden Formel 2 berechnen:

**Formel 2: Berechnung der Windkräfte nach SIA Zürich (2014)**

$$Q_k = c_{red} c_d c_f q_p A_{ref}$$

- $c_{red}$ : Reduktionsfaktor, welcher von den Abmessungen des Bauwerks abhängt
- $c_d$ : dynamischer Faktor in Abhängigkeit der Eigenfrequenz, Eigenform und der Dämpfung des Bauwerks
- $c_f$ : Kraftbeiwerte, welche je nach Form des Bauwerks variieren
- $q_p$ : Staudruck, welcher vom Windklima, der Bodenbeschaffenheit und der Bezugshöhe abhängt
- $A_{ref}$ : Bezugsfläche des Bauwerks

### 2.3.3 BAUBEWILLIGUNGEN

In der Schweiz sind die Anforderungen für Baubewilligungen kantonal unterschiedlich. Laut hausinfo.ch (2019) ist das Bauen in der Schweiz verboten. Daher braucht es für jeden Bau eine Bewilligung. Je nach Kanton gibt es jedoch sogenannte Kleinbauten, welche keine Bewilligung benötigen. Im Kanton Zürich dürfen diese nur eine Fläche von maximal 2 m<sup>2</sup> besitzen und 1.5 m hoch sein. Im Kanton Bern ist die Fläche auf 10 m<sup>2</sup> beschränkt, bei einer Höhe von 2.5 m. (hausinfo.ch, 2019)

## 2.4 VERFÜGBARKEIT VON SECOND-LIFE AKKUS

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, wo und in welchen Mengen Lithium-Ionen-Batterien (LIB) eingesetzt und nach welcher Zeit diese entsorgt werden.

Da seit einigen Jahren immer mehr Elektrofahrzeuge auf den Markt kommen und diese durch attraktive Verkehrsabgaben (beispielsweise verkehrsabgabenbefreit im Kanton Zürich, Verkehrsabgabengesetz, 1991) gefördert werden, sind grosse Mengen an Akkus im Umlauf.

In Fahrzeugen spielt die Energiedichte eine grosse Rolle, weil der Rollwiderstand mit einem höheren Fahrzeuggewicht zunimmt. Die häufig verwendeten LIB (Kleber & Schneider, 2017) verlieren mit zunehmendem Alter an Kapazität, was einer Abnahme der Energiedichte entspricht (Saxton, 2013). Dadurch müssen diese früher oder später durch neue Akkus ersetzt werden. Die gebrauchten Akkus sind zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht defekt und können für andere Anwendungen, welche tiefere Anforderungen an die Energiedichte haben, weiterverwendet werden.

Die Verfügbarkeit von gebrauchten Akkus richtet sich in den nächsten Jahren, zu einem grossen Teil, nach den aus dem Betrieb genommenen Elektrofahrzeugen. Dies, weil die Nachfrage an LIB-Kapazität und das Wachstum der Elektrofahrzeugbranche sehr gross sind, während das Wachstum anderer Märkte wie die Laptop- und Mobiltelefonindustrie ein deutlich tieferes Wachstum aufweisen und geringere Kapazitäten benötigen (Abbildung 3).



Abbildung 3: Marktgrösse vs. Wachstum für LIB-Zellen. Quelle: Thielmann, Sauer & Wietschel (2015, S. 19).

#### 2.4.1 BAUFORMEN DER LITHIUM-AKKUS

Für die Weiterverwendung von gebrauchten Akkus ist neben der Menge an Akkus auch deren Typ wichtig. Grob lassen sich die LIB-Zellen aufgrund ihrer Form in drei Gruppen aufteilen: prismatische, zylindrische und Pouch (Abbildung 4).



Abbildung 4: Vergleich der drei LIB-Zellformen. Quellen: The Camping Trips (2017), Electric Car Party Company (2019), JakartaNotebook (2019).

Während zum Beispiel der Autohersteller Tesla zylindrische LIB-Zellen des Typs 18650 (18 mm Durchmesser 65 mm Länge) verwendet (Thielmann et al., 2015, S. 42), die auch in vielen anderen Anwendungen zum Einsatz kommen, setzen andere Autohersteller auf andere Bauformen. Nach Köllner (2018) ist es schwierig vorauszusagen, welche LIB-Zellen sich langfristig durchsetzen werden.

#### 2.4.2 ELEKTROFAHRZEUGE IN DER SCHWEIZ

In der Schweiz wurden im Jahr 2017 etwa 2000 Elektrofahrzeuge verkauft. Tesla Modelle haben dabei einen Marktanteil von 51.9 %, gefolgt von Renault mit dem Modell ZOE mit 17 % Marktanteil und vom BMW i3 mit 11.7 % Marktanteil (Engel, 2017). Während, wie schon erwähnt, Tesla auf zylindrische LIB-Zellen setzt, werden beim Renault ZOE Pouch-Zellen verbaut (Ciferri, 2016). BMW hingegen setzt bei ihren Elektrofahrzeugen auf prismatische Zellen (Lambert, 2018).

#### 2.4.3 LEBENSDAUER DER LITHIUM-AKKUS

Nach Untersuchungen von Casals, García & Cremades (2017) werden die Akkus bis zu einer Restkapazität von 80% in den Elektrofahrzeugen verwendet. Da die Akkus aus vielen Zellen bestehen, sind nach dem Einsatz im Elektrofahrzeug Zellen verfügbar, welche unterschiedliche Restkapazitäten besitzen. Die Autoren fanden in ihrer Studie heraus, dass 70% der Zellen eine Kapazität zwischen 75 % und 88 % besitzen. 9 % haben eine höhere Kapazität, 20% eine geringere Kapazität.

Die Lebensdauer der Akkus von Elektrofahrzeugen liegt je nach Hersteller zwischen 8 bis 10 Jahren (Casals et al., 2017). Danach ist die durchschnittliche Restkapazität von 80 % erreicht.

### 2.5 ENERGIEVERBRAUCH DER ELEKTROFAHRZEUGE

Als Energieverbrauch von Elektrofahrzeugen wird von den Herstellern üblicherweise der Verbrauch nach dem New European Driving Cycle (NEFZ) angegeben. Dieser Verbrauch weicht jedoch laut ADAC (2018) vom tatsächlichen Verbrauch ab, weil unter Testbedingungen gemessen wird. Zudem werden die Ladeverluste nicht eingerechnet. Der reale Energieverbrauch der in Kapitel 2.4.2 erwähnten Fahrzeuge ist in Tabelle 3 ersichtlich.

**Tabelle 3: Stromverbrauch der näher betrachteten Elektrofahrzeuge. Quellen: ADAC (2018), ADAC (2019).**

Hersteller	Modell	Verbrauch [kWh/100 km]	
		NEFZ	ADAC
BMW	i3	12.6	17.4
Renault	ZOE	13.3	20.3
Tesla	Model 3	-	20.9
	Model S	20.0	24
	Model X	20.8	24

80 % der in der Schweiz verkauften Elektrofahrzeuge haben demnach einen Stromverbrauch zwischen 17.4 und 24.0 kWh/100 km inklusive Ladeverluste. Berücksichtigt man die durchschnittliche, täglich zurückgelegte Distanz der Schweizerinnen und Schweizer von 36.8 km (Bundesamt für Statistik, 2017b), so werden pro Tag zwischen 6.4 kWh und 8.8 kWh elektrische Energie benötigt.

### 3 MATERIAL UND METHODEN

Anhand der im Kapitel 2.1.1 gewonnenen Erkenntnisse über die Wohnsituation in der Schweiz und die Wohnzonen im Kanton Zürich wurden für diese Studie 30 Parkplätze im Kanton Zürich genauer betrachtet. Diese Parkplätze verteilen sich auf die Wohnzonen W1 bis W4 mit einer Nutzungsdichte von 25-250 Personen pro Hektare. Zudem wurde auf drei Parkplätzen im Kanton Bern die Globalstrahlung während je fünf Tagen gemessen.

#### 3.1 STANDORTAUSWAHL

Eine repräsentative Untersuchung der Standorte von Parkplätzen hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Daher wurden die zu untersuchenden Parkplätze nachfolgenden Kriterien ausgewählt:

- 50% bei Einfamilienhäusern (EFH) und 50% bei Mehrfamilienhäusern (MFH)
- 40% der EFH sollen Reiheneinfamilienhäuser (REFH) sein
- Parkplätze in Wohnzone 1 bis Wohnzone 4
- Nutzungsdichten sollen berücksichtigt werden
- Drei Parkplätze pro Wohnzone und Nutzungsdichte

So ergaben sich die Parkplatzkategorien, welche in Tabelle 4 ersichtlich sind und sich aus den in Kapitel 2.1.1 gewonnenen Erkenntnisse ergeben.

**Tabelle 4: Parkplatzkategorien nach Haustyp, Wohnzone und Nutzungsdichte.**

Kategorie	Haustyp	Wohnzone	Nutzungsdichte [Pers./ha]
W1025E	EFH	W1	25-50
W2050E	EFH	W2	50-100
W2100R	REFH	W2	>100
W3000E	EFH	W3	<100
W3000M	MFH	W3	<100
W3100R	REFH	W3	100-150
W3100M	MFH	W3	100-150
W4000M	MFH	W4	<100
W4100M	MFH	W4	100-150



---

W4150M	MFH	W4	150-250
--------	-----	----	---------

---

Wohngebiete welche in die ausgewählten Kategorien passten, wurden mit Hilfe der Quartieranalyse im GIS-Browser (Quartieranalyse, GIS-ZH, 2018) visuell gesucht. Davon wurden solche ausgesucht, die möglichst weit auseinander lagen. So sollte gewährleistet werden, dass möglichst verschiedene Parkplätze untersucht wurden. Um eine Verfälschung von angrenzenden, dichter oder weniger dicht bebauten Siedlungen zu verhindern, wurden wenn möglich Häuser im Innern der verschiedenen Wohnzonen ausgewählt. Die Wahl der Häuser erfolgte auf der Karte. Vor Ort wurde dann der dazugehörige Parkplatz vermessen. Waren mehrere Parkfelder für ein Gebäude verfügbar, wurde nachfolgenden Kriterien der zu testende Parkplatz ausgewählt:

- Bei EFH ein Parkplatz, welcher nicht vor einer Garage oder einem Carport steht. Meist eine Parkfläche seitlich der Garagen. Wenn diese Fläche Platz für mehrere Autos hatte, so wurde in der Mitte davon gemessen.
- Bei REFH wenn ersichtlich war, welches Parkfeld zum ausgewählten Haus gehört, dann dieses, ansonsten wurde ein Besucherparkfeld ausgewählt. Dies war auch der Fall, wenn die Anwohner die Parkplätze in einer Tiefgarage hatten.
- Bei MFH wurde ohne auf die Lage zu achten ein freies Parkfeld ausgewählt. Mal am Rande, mal in der Mitte. Priorität hatten vermietete Parkfelder. War kein solches verfügbar, wurde ein Besucherparkfeld vermessen.

Für die drei, je 5-tägigen, Messungen der Sonneneinstrahlung wurden Parkplätze in Thunstetten (BE) ausgewählt. Dies, weil der, für die Messung benötigte, Autoanhänger sich in Thunstetten befand und dieser aus ökologischen und organisatorischen Gründen nicht weit transportiert wurde. Es wurden ein Parkplatz mit Verschattung im Osten (P1), ein Parkplatz mit sehr wenig Verschattung (P2) und ein Parkplatz, mit starker Verschattung im Westen (P3) ausgewählt, welche sich auf Grundstücken von Personen befanden, welche informiert wurden und der Benutzung zugestimmt haben.

### 3.2 VERMESSUNG DER PARKPLÄTZE

Die 30 Parkplätze wurden mit dem Horizontmessgerät SunEye-210 aufgezeichnet. Positioniert wurde das Horizontmessgerät einen Meter über Boden im hinteren Drittel des Parkfeldes.

Mit Hilfe der Software SunEye (Solmetric SunEye, 2016) wurden die verschattenden Objekte erfasst. Da die Aufnahmen im Frühling, bei laublosen Bäumen geschahen, wurden die erwarteten Flächen der Belaubung nachträglich eingezeichnet. In Abbildung 5 und Abbildung 6 ist je eine

Horizontaufnahme eines stark verschatteten und eines schwach verschatteten Parkplatzes ersichtlich.

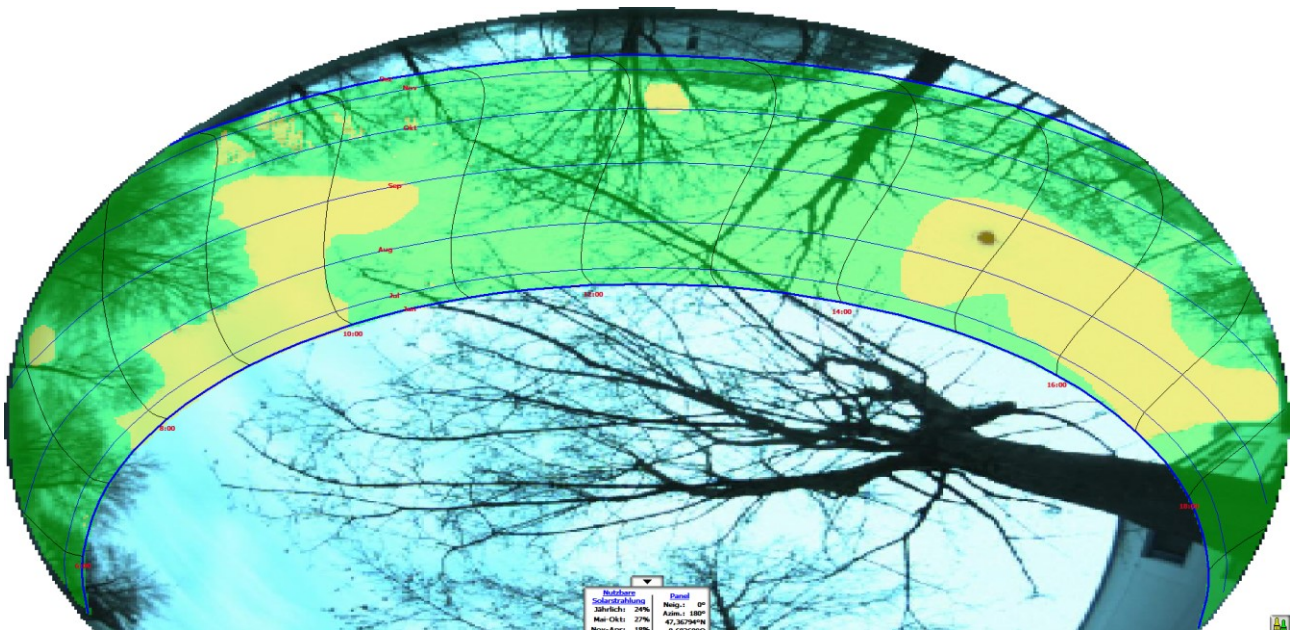


Abbildung 5: Parkplatz W4150M3, welcher eine hohe Verschattung aufweist. Die gelbe Fläche stellt den freien Horizont innerhalb des Sonnenpfades dar, während die grüne Fläche den verschatteten Horizont innerhalb des Sonnenpfads markiert. Quelle: Eigene Grafik (2019).

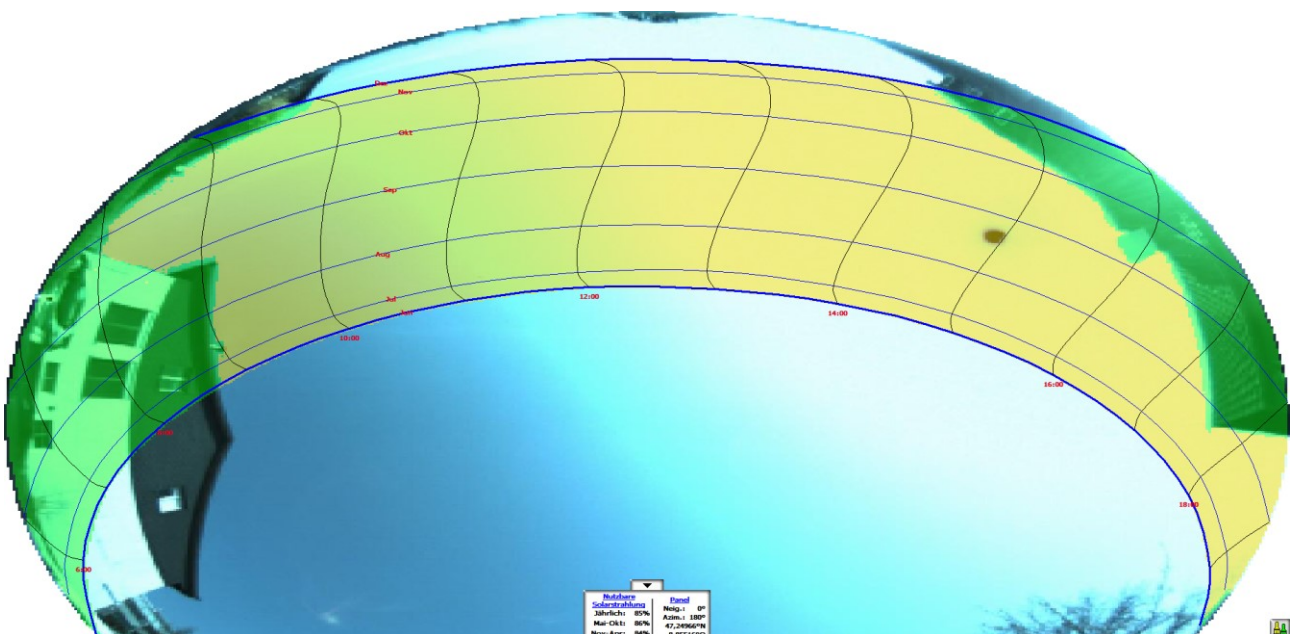


Abbildung 6: Parkplatz W125E2, welcher einen nahezu freien Horizont und damit eine geringe Verschattung der Sonnenpfadfläche aufweist. Quelle: Eigene Grafik (2019).

Das Verhältnis zwischen gelber, unverschatteter Sonnenpfadfläche und der gesamten Sonnenpfadfläche ergibt die nutzbare Solarstrahlung. Diese wurde in Sommerhalbjahr und Winterhalbjahr aufgeteilt um aussagekräftigere Resultate zu erhalten.

Die gemessenen Werte der Parkplätze der verschiedenen Kategorien wurden mit Hilfe eines statistischen Tests «analysis of variance» (ANOVA) und dem Programm RStudio (RStudio Inc., 2018) in Verbindung mit R (The R Foundation for Statistical Computing, 2018) verglichen. Dazu diente die Fragestellung «Unterscheidet sich der arithmetische Mittelwert von mindestens zwei Parkplatzkategorien signifikant voneinander?» Das Signifikanzniveau war über alle Tests  $\alpha=5\%$ . Das R-Script ist in Anhang B ersichtlich.

### 3.3 MESSAUFBAU ZUR MESSUNG DER SONNENEINSTRALUNG

Die in Kapitel 3.2 gewonnen Erkenntnisse, über die theoretisch nutzbare Solarstrahlung, wurde mit einem Messaufbau in der Realität überprüft. Ziel der Messung war es, einen Anhaltspunkt zu haben, in welcher Grössenordnung der Energieertrag auf den Parkplätzen ist. Dazu wurde auf den drei Parkplätzen in Thunstetten während je fünf Tagen die Sonneneinstrahlung gemessen. Die Messstation Wynau, welche unter anderem die Globalstrahlung misst, war mit 7.5 km Entfernung nahe gelegen und auf einer ähnlichen Meereshöhe (swisstopo, 2019). Dadurch konnte diese für einen Vergleich verwendet werden.



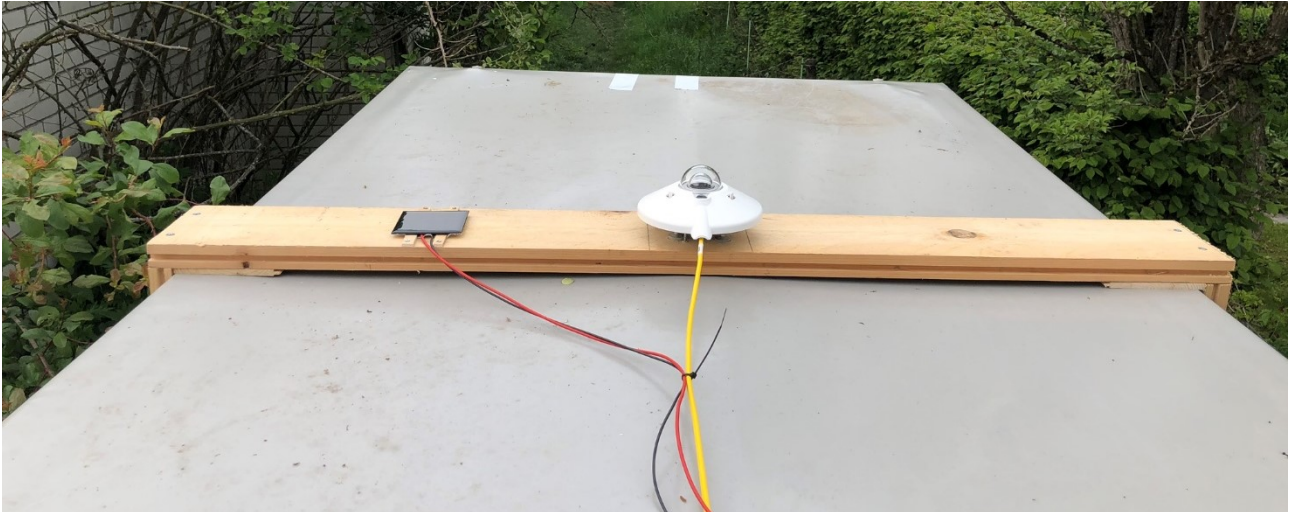


**Abbildung 7: Messaufbau auf dem Anhänger mit Pyranometer und Solarzelle auf dem Dach und Solarzellen an den vier Seiten. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Der Aufbau und die Funktion des Messanhängers (Abbildung 7) wird in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben.

### 3.3.1 SENSOREN

Zur Messung stand ein thermischer Sensor der ZHAW zur Verfügung; ein Pyranometer SMP10-A der Firma Kipp&Zonen, welches den ISO9060 secondary standard erfüllt. Dieses Pyranometer gibt ein Stromsignal zwischen 4-20 mA aus (Kipp & Zonen, 2017, S. 21). Platziert wurde das Pyranometer auf einer Holzkonstruktion auf dem Dach des Anhängers (Abbildung 8). Durch zwei verstellbare Füsschen konnte das Pyranometer eben ausgerichtet werden.



**Abbildung 8: Pyranometer und Solarzelle auf dem Dach des Anhängers. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die Sonneneinstrahlung auf den Seiten wurde mit handelsüblichen Solarzellen erfasst, welche eine Leerlaufspannung von 2 V und einen Kurzschlussstrom von 0.4 A aufwiesen.

### 3.3.2 DATENLOGGER

Als Datenlogger wurde das Modell «myRIO-1900» von National Instruments mit dem Betriebssystem «NI Linux Real-Time ARMv7-A 4.9.47-rt37-ni-6.0.0f1» verwendet.

Die analogen Eingänge des myRIO-1900 haben eine Auflösung von 12 bit und eine Spannungsbreite von 0 V bis +5 V. Somit kann ein Spannungssignal in 1.22 mV-Schritten aufgelöst werden.

Mit Hilfe von LabVIEW (National Instruments, 2018) wurde ein Programm konstruiert, welches über die analogen Eingänge die Spannung der Messwiderstände misst und in eine Datei überträgt. Das Messintervall wurde auf 10 Sekunden programmiert. Das Schaltbild ist in Anhang A ersichtlich.

### 3.3.3 MESSWIDERSTAND

Da die analogen Eingänge des Datenloggers ausschliesslich Spannungen messen konnten, die Sensoren jedoch ein Stromsignal generierten, mussten diese Ströme über Messwiderstände geführt werden, worüber die resultierende Spannung gemessen wurde. Die Grösse der Messwiderstände wurde durch den anfallenden Strom und die Auflösung der analogen Eingänge dimensioniert (Tabelle 5).

**Tabelle 5: Messwiderstände und daraus resultierende Messauflösung der verschiedenen Sensoren.**

Sensor	Stromsignal [mA]	Widerstand [ $\Omega$ ]	Spannung [mV]	Auflösung [Schritte]
Pyranometer	4-20	18.7	74.8-374	245
Solarzelle	0-400	0.22	0-88	72

Bei den Solarzellen musste ein kleiner Widerstand gewählt werden, da diese möglichst im Kurzschlussstrom betrieben werden müssen. Die Temperatur wurde nicht berücksichtigt, da diese einen grösseren Einfluss auf die Spannung der Solarzelle hat und nur einen kleinen Einfluss auf den Strom, was bei der erzielten Genauigkeit dieser Messung vernachlässigt werden kann (Solaik GmbH, 2018).

Da das Pyranometer mit Hilfe einer externen Energiequelle das Stromsignal generiert, konnte mit einem grösseren Widerstand eine höhere Messauflösung erzielt werden.

Es wurden axial verdrahtete Metallschichtwiderstände mit einer Toleranz von +/- 1% des Herstellers TRU Components verwendet, die eine Leistung von 0.6 W aufnehmen können.

### 3.3.4 VERSCHALTUNG

Die Verschaltung der verschiedenen Komponenten ist in Abbildung 9 ersichtlich. Die Stromversorgung wurde mit einem 12 V Bleisäure-Akku mit einer Kapazität von 100 Ah gewährleistet. Da das myRIO maximal 14 W Leistung braucht (National Instruments, 2016) und das Pyranometer maximal knapp 1 W (Kipp & Zonen, 2017) wurde direkt nach dem Akku eine 4 A Schmelzsicherung eingebaut.

Um den Akku vor einer Tiefenentladung zu schützen, wurde ein Solarladeregler (Modell PWM Seriell 12/24 von IVT) verwendet. Diese Lösung erwies sich als kostengünstiger als ein reiner Tiefenentladeschutz (Vergleich mit 18315 Tiefenentladeschutz 12V, 24V am 21.06.2019 auf conrad.ch).

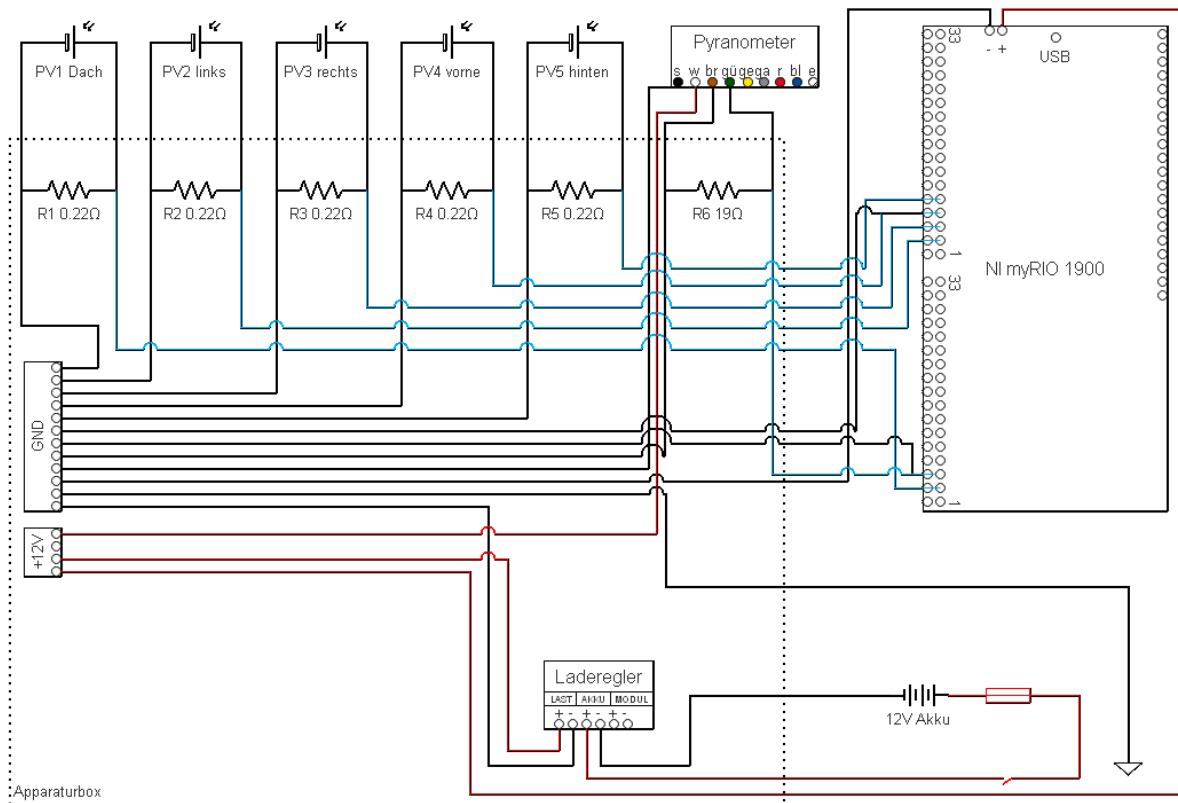


Abbildung 9: Schema des Messaufbaus. Quelle: Eigene Grafik (2019).

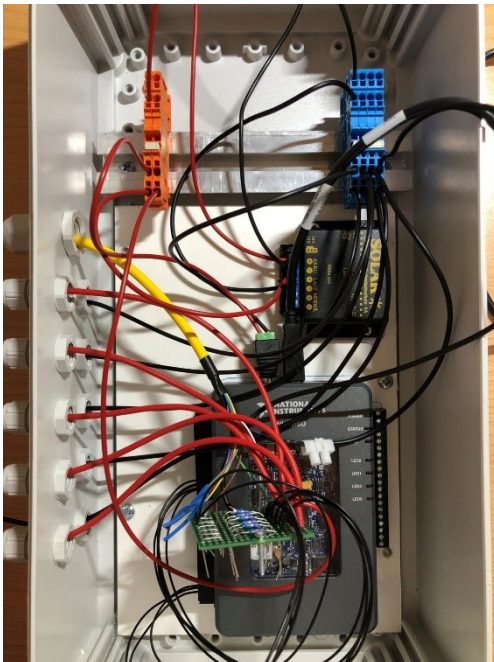


Abbildung 10: Innenansicht der Apparaturbox. Quelle: Eigene Grafik (2019).

Die GND- und 12 V-Anschlüsse wurden mit Klemmleisten auf einer Hutschiene zusammengeführt (Abbildung 10). Der Laderegler, das myRIO und die Leiterplatte mit den Widerständen wurden auf einer PVC-Platte befestigt, welche mit der Apparaturbox verschraubt wurde. Die Verbindung der Messwiderstände zum Datenlogger erfolgte über vorgekrimppte Kabel und 34-Pin-Anschlüsse auf die zwei MXP-Sockel.

Die aus der Apparaturbox herausführenden Kabel wurden durch Kabelverschraubungen geführt, um ein Eindringen von Feuchtigkeit zu minimieren und die Anschlüsse vor Zug zu schützen.



### 3.4 UNGENAUIGKEITEN

Im Messaufbau gab es diverse Quellen für Ungenauigkeiten. In Tabelle 6 sind diese unter Komponenten ersichtlich.

**Tabelle 6: Ungenauigkeiten der verwendeten Komponenten. Quellen: Kipp & Zonen (2017), National Instruments (2016), TRU Components (o. J.)**

Komponente		Genauigkeit
Pyranometer	Auflösung	+/- 1 W/m <sup>2</sup>
Solarzellen	Ungenauigkeit	Keine Angabe
Messwiderstände	Ungenauigkeit	1%
myRIO	Auflösung	1.22 mV
	Rundung der Aufzeichnung	Auf zwei Kommastellen [mV]

Neben den Komponenten entstanden auch beim Messaufbau Messunsicherheiten, welche jedoch nicht quantifiziert werden konnten. Der Anhänger wurde so gut als möglich mit Hilfe einer Wasserwaage und der Dosenlibelle des Pyranometers in der Horizontalen ausgerichtet.



## 4 ERGEBNISSE

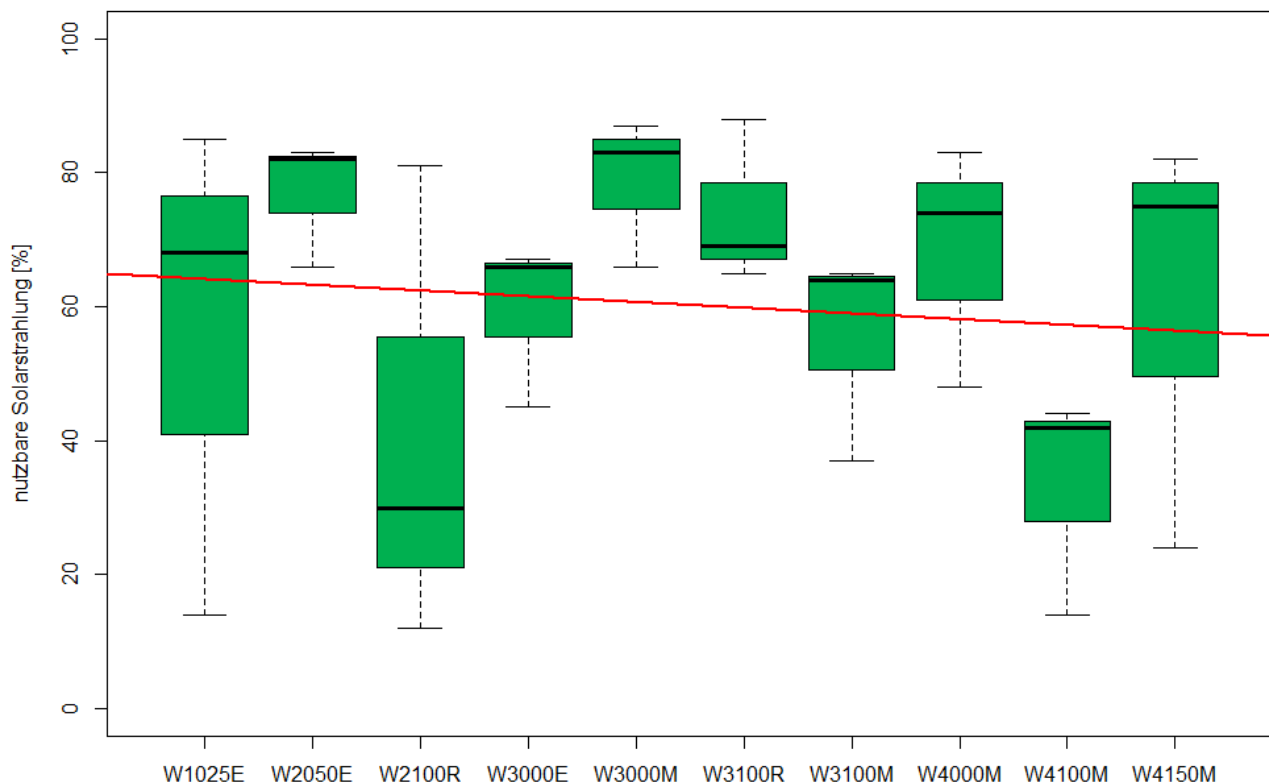
Die Ergebnisse sind in die drei Unterkapitel Messergebnisse, Ergebnisse der Verfügbarkeit von second-life Akkus und Konzepte unterteilt.

### 4.1 MESSERGEBNISSE

In diesem Unterkapitel sind die Ergebnisse der Horizontmessungen auf den 30 Parkplätzen sowie die drei Einstrahlungsmessungen erläutert, welche als Grundlage für das Konzept dienen.

#### 4.1.1 HORIZONTMESSUNGEN

Die Ergebnisse der Horizontmessungen auf den Parkplätzen sind in Abbildung 11 zusammengefasst. Es sind deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Parkplätzen ersichtlich.

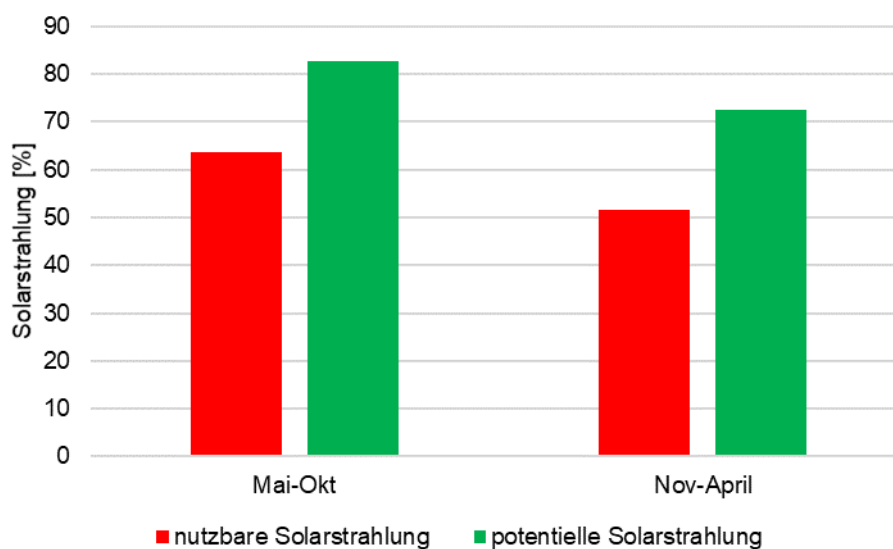


**Abbildung 11: Boxplot der Horizontmessungen nach Parkplatzkategorie mit der roten Regressionslinie. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die detaillierten Angaben zu den Parkplätzen und den Messergebnissen sind in Anhang C ersichtlich. Ein Vergleich der verschiedenen Parkplatzkategorien mit einer ANOVA konnte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Parkplatzkategorien aufzeigen. Die in Abbildung 11 ersichtliche Regressionslinie (rot) zeigt zwar, bei Betrachtung der Mittelwerte, eine leichte Abnahme der nutzbaren Solarstrahlung bei höherer Nutz- und Baudichte. Es lässt sich jedoch nicht bestätigen,

dass die Nutzungsdichte und Bauhöhe einen signifikanten Einfluss auf die Beschattung der Parkplätze haben.

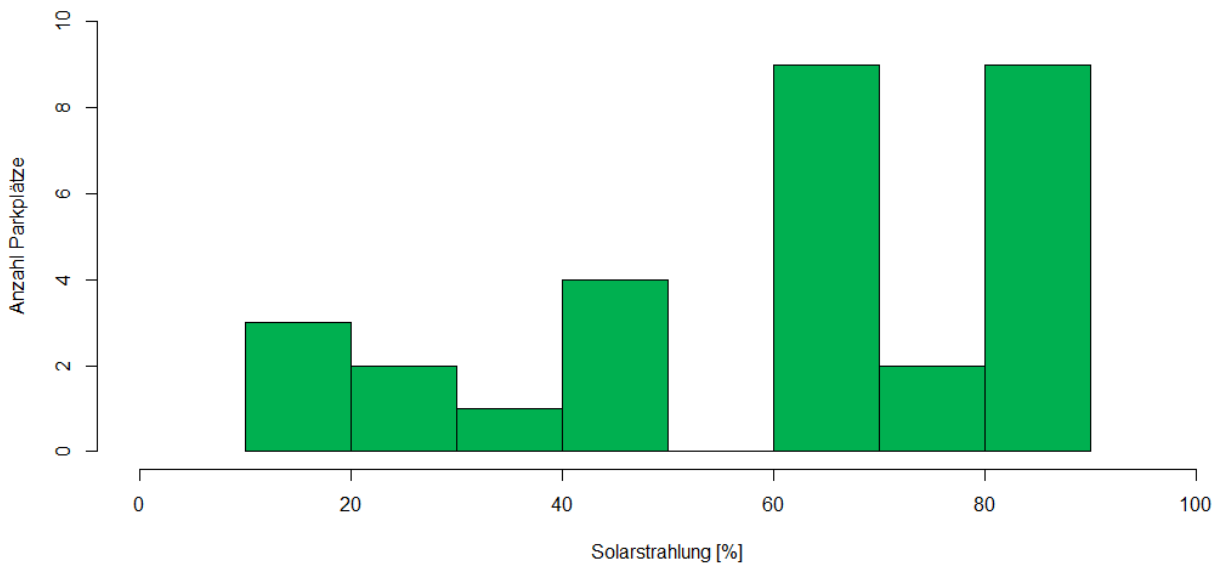
In einer Simulation wurde die verschattende Begrünung auf den Horizontaufnahmen entfernt. Dadurch wurde sichtbar, dass die Gebäude und somit die Nutzungsdichte und Bauhöhe nicht den grössten Einfluss haben. Die mögliche, potentielle Solarstrahlung (ohne verschattende Begrünung) im Vergleich zu der nutzbaren Solarstrahlung (mit Begrünung) in Abbildung 12 zeigt, dass ein erheblicher Anteil der Verschattung durch die Begrünung zustande kommt (zirka 20%). Die restliche Verschattung liegt der Topographie und den Gebäuden zugrunde.



**Abbildung 12: Vergleich von nutzbarer Solarstrahlung und potentieller Solarstrahlung, wenn die schattenwerfenden Pflanzen entfernt werden. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Es liess sich keine Kategorisierung von den gemessenen Parkplätzen machen, da kein signifikanter Unterschied zwischen der Verschattung, der Nutzungsdichte und der Bauhöhe besteht. Anhand der Bäume, Hecken und Sträucher um die Parkplätze herum könnten die Parkplätze subjektiv in «eher geeignet» und «eher ungeeignet» eingeteilt werden.

Durchschnittlich sind 60 % der Sonnenstrahlung nutzbar. 20 der 30 untersuchten Parkplätze haben einen Wert über diesen 60 % und neun Parkplätze haben eine nutzbare Sonnenstrahlung von über 80 % (Abbildung 13).



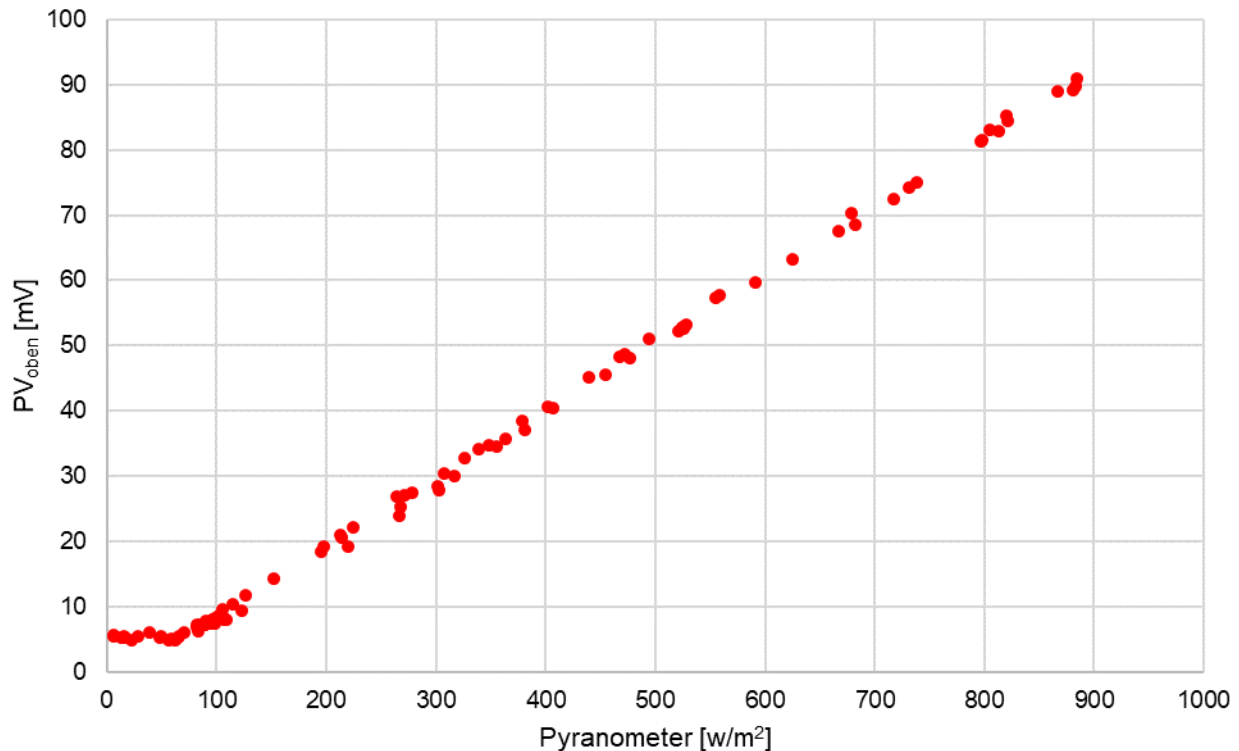
**Abbildung 13: Verteilung der nutzbaren Solarstrahlung der gemessenen Parkplätze. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

In den Konzepten (Kapitel 4.3) wird aufgrund der Ergebnisse der Horizontmessungen in erster Linie mit einer nutzbaren Solarstrahlung von 60 % gerechnet.

#### 4.1.2 EINSTRÄHLUNGSMESSUNGEN

Die geloggten 10-Sekunden Messwerte wurden mit Hilfe von Excel (Microsoft Office, 2015) in 10-Minuten Durchschnittswerte verarbeitet.

Um die Aussagekraft der Messwerte der Solarzellen, welche die vertikale Einstrahlung auf den Seiten messen, zu bestimmen, wurde in einem ersten Schritt die Korrelation zwischen dem Pyranometer und den Solarzellen in Abbildung 14 dargestellt. Die x-Achse zeigt die gemessene Einstrahlung [ $\text{W/m}^2$ ] des Pyranometers, während die y-Achse die gemessene Spannung über dem Messwiderstand der Solarzelle auf dem Dach zeigt. Die Korrelation der beiden Werte und somit der beiden Sensoren ist ab einer Einstrahlung von zirka  $100 \text{ W/m}^2$  linear. Unter diesem Wert stagnierte die Spannung der Solarzelle, während das Pyranometer weiterhin genaue Werte generierte. Da die Messwerte auch bei hoher Einstrahlung linear bleiben, kann daraus gefolgert werden, dass die Solarzellen nahe am Kurzschlussstrom betrieben wurden. Somit können die Messwerte der vertikalen Solarzellen ab einer Einstrahlung von  $100 \text{ W/m}^2$  verwendet werden.



**Abbildung 14: Korrelation zwischen dem Pyranometer und der Solarzelle auf dem Dach am Beispiel eines durchgezogenen Tages mit 304 Min. Sonnenschein und 1 mm Niederschlag (27.05.2019, BAFU / EUA, MeteoSchweiz, 2019). Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Durch die Horizontmessungen wurde eine nutzbare Sonneneinstrahlung berechnet. Anhand der Messungen vor Ort konnte die reale Einstrahlung während der Messperiode eruiert und durch den Vergleich mit den MeteoSchweiz-Daten die nutzbare Sonneneinstrahlung berechnet werden.

In Abbildung 15 sind die Differenzen zwischen nutzbarer Sonnenstrahlung auf den Parkplätzen und der maximal möglichen Sonnenstrahlung sichtbar. Am Messtag 1.1 (1. Parkplatz, 1. Messtag) und 2.4 (2. Parkplatz, 4. Messtag) sind die gemessenen Werte höher, als der Wert von MeteoSchweiz. Dies kann auf die wechselhaften Tage mit lokaler Bewölkung zurückgeführt werden. Alle anderen Messwerte sind tiefer als die MeteoSchweiz Werte, was in Hinsicht auf die beschattenden Objekte bei den Parkplätzen nachvollziehbar ist.



**Abbildung 15: Gemessene Einstrahlungsenergie im Vergleich mit der potentiellen Einstrahlungsenergie. Quellen: MeteoSchweiz (2019), Eigene Grafik (2019).**

Der Vergleich des sonnigsten Tages, der jeweiligen Sonnenstrahlungsmessung mit der Horizontmessung zeigt, dass alle Sonnenstrahlungsmessungen höher ausfielen, als die Horizontmessungen berechneten (Tabelle 7).

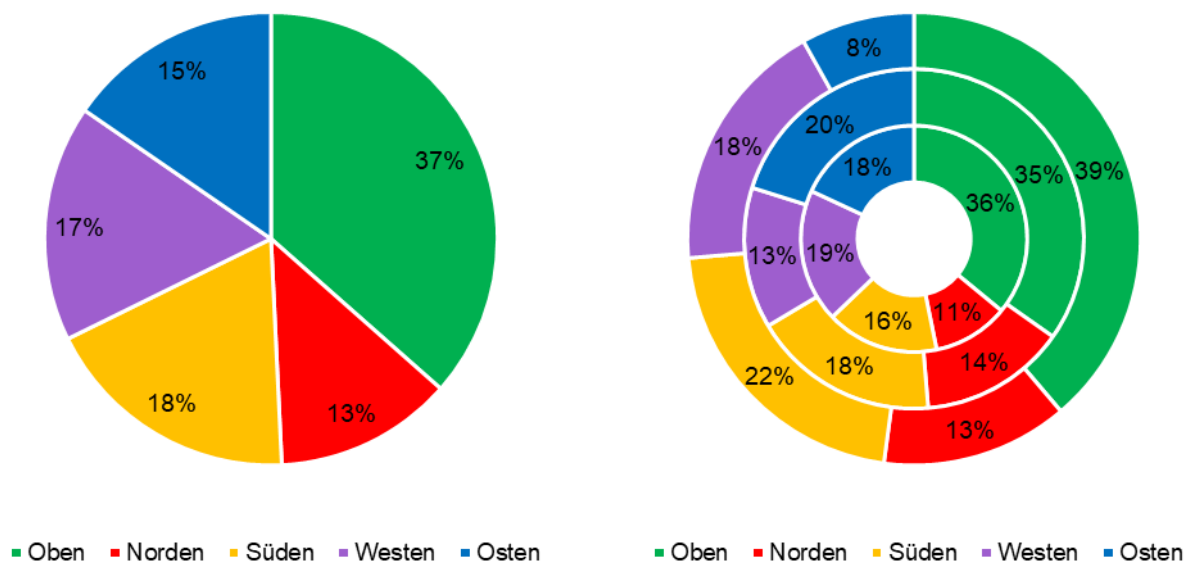
**Tabelle 7: Vergleich der Sonnenstrahlungsmessung des sonnigsten Tages mit der Horizontmessung.**

Messung / Parkplatz	Horizontmessergebnis Mai/Juni	Messergebnis sonnigster Tag
1 / P1	84.5 %	93.5 %
2 / P2	92 %	97.7 %
3 / P3	71 %	92 %

Für den Vergleich wurde jeweils der sonnigste Tag ausgewählt, damit eine unterschiedliche Bewölkung möglichst klein ist (sonniger Tag = wenig bis keine Bewölkung). Die Unterschiede könnten ihren Ursprung in den verschattenden Objekten haben: Die Pflanzen und Bäume lassen je nach Dichte mehr oder weniger Sonnenstrahlung durch, während das Horizontmessergebnis darauf

beruht, dass kein Licht durch beschattende Objekte gelangt. Gerade die Messung auf dem Parkplatz P3 mit der grossen Beschattung durch Pflanzen, bestätigt diese Vermutung, da dort die Ergebnisse 20 % voneinander abweichen. Auch können Reflektionen von hellen Oberflächen die Sonneneinstrahlung erhöhen. Beim Parkplatz P2 gibt es nur eine minime Beschattung durch Pflanzen und die Differenz zwischen der Horizontmessung und der Sonneneinstrahlungsmessung beträgt nur 5.7 %.

Durch die Messungen wurde auch untersucht, in welchem Verhältnis die Sonneneinstrahlung auf die vier Seiten und die obere Fläche auftritt.



**Abbildung 16: Verteilung der Sonneneinstrahlung auf die verschiedenen Flächen. Links der Durchschnitt über alle Parkplätze, rechts Messung 1 bis 3 von innen nach aussen. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

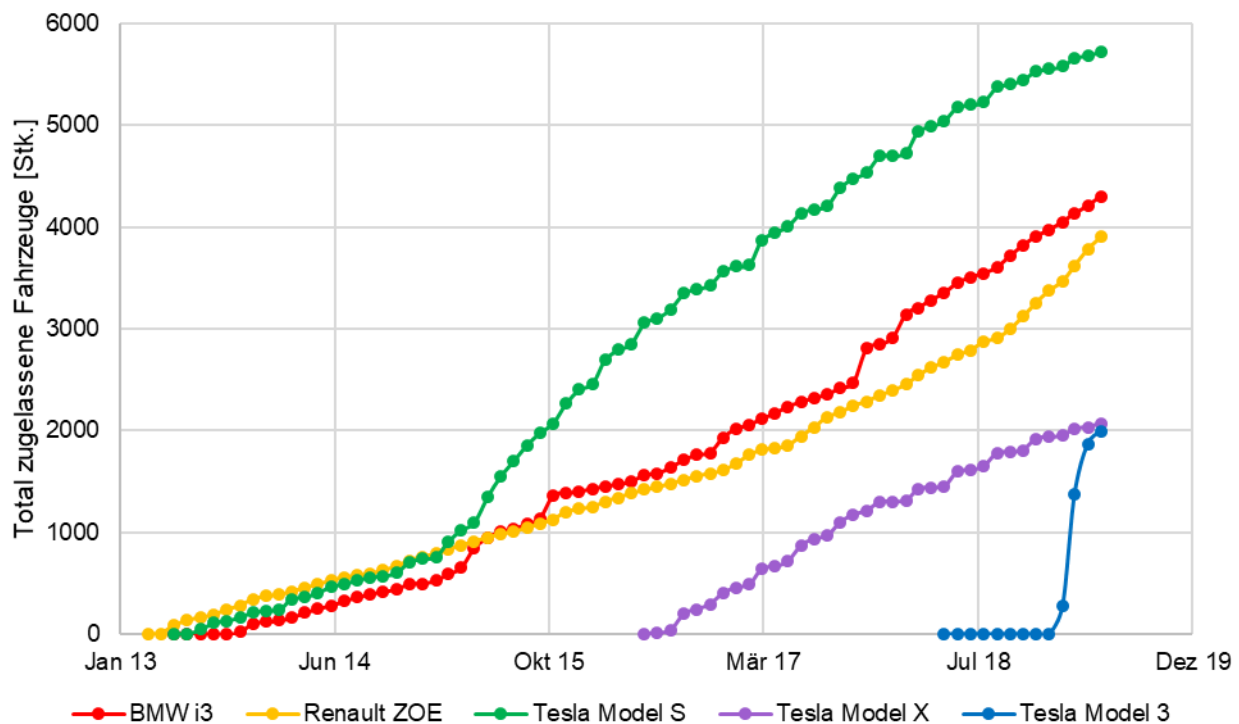
Während den Messungen, welche Ende Mai / Anfangs Juni stattfanden, fiel mehr als ein Drittel der Strahlungsenergie auf die obere Seite. Süden, Westen und Osten zusammen konnten über die Hälfte der Strahlungsenergie aufnehmen, während der Norden im Durchschnitt am wenigsten Strahlungsenergie empfing (Abbildung 16). Detaillierte Messergebnisse der einzelnen Parkplätze sind in Anhang D aufgeführt.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen lässt sich zusammenfassen, dass auf einen typischen Parkplatz 60% der Globalstrahlung als nutzbare Solarstrahlung zur Verfügung steht. Die horizontale Fläche kann bei derselben Grösse mehr als doppelt so viel Energie produzieren als eine vertikale Fläche. Die Ausrichtung der vertikalen Flächen spielt dabei eine kleinere Rolle, da lediglich die Nordseite eine niedrigere Sonneneinstrahlung aufweist.

## 4.2 SECOND-LIFE AKKUS

Wie im Kapitel 2.4.2 beschrieben, gehören den Elektrofahrzeugen i3 von BMW, ZOE von Renault und Teslas Modelle S, X und 3 zirka 80% des Marktanteils in der Schweiz. Diese Modelle wurden berücksichtigt, um die in Zukunft anfallenden gebrauchten Akkus zu quantifizieren.

In Abbildung 17 sind die Zulassungen seit Januar 2013 bis Ende Mai 2019 ersichtlich.



**Abbildung 17: Anzahl zugelassene Fahrzeuge der Modelle i3, ZOE, Model S, Model X und Model 3 in der Schweiz. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Wie im Kapitel 2.4.3 erwähnt, können die gebrauchten LIB-Zellen nach Casals et al. (2017) in drei Kategorien eingeordnet werden: solche mit einer Restkapazität von über 88 %, solche mit 75 % bis 88 % Restkapazität und solche mit weniger als 75 %. Die Zellen mit über 88 % können direkt wieder in Elektrofahrzeugen verwendet werden. Diejenigen Zellen mit einer Kapazität von weniger als 75 % müssten auseinandergebaut und rezykliert werden, während die restlichen Zellen als second-life LIB direkt weiterverwendet werden können.

In Tabelle 8 sind die Akkukapazitäten der untersuchten Fahrzeuge und die daraus resultierende Restkapazität (Durchschnitt von 75 % und 88 %) ersichtlich, welche für das zweite Akku-Leben verfügbar sein wird.

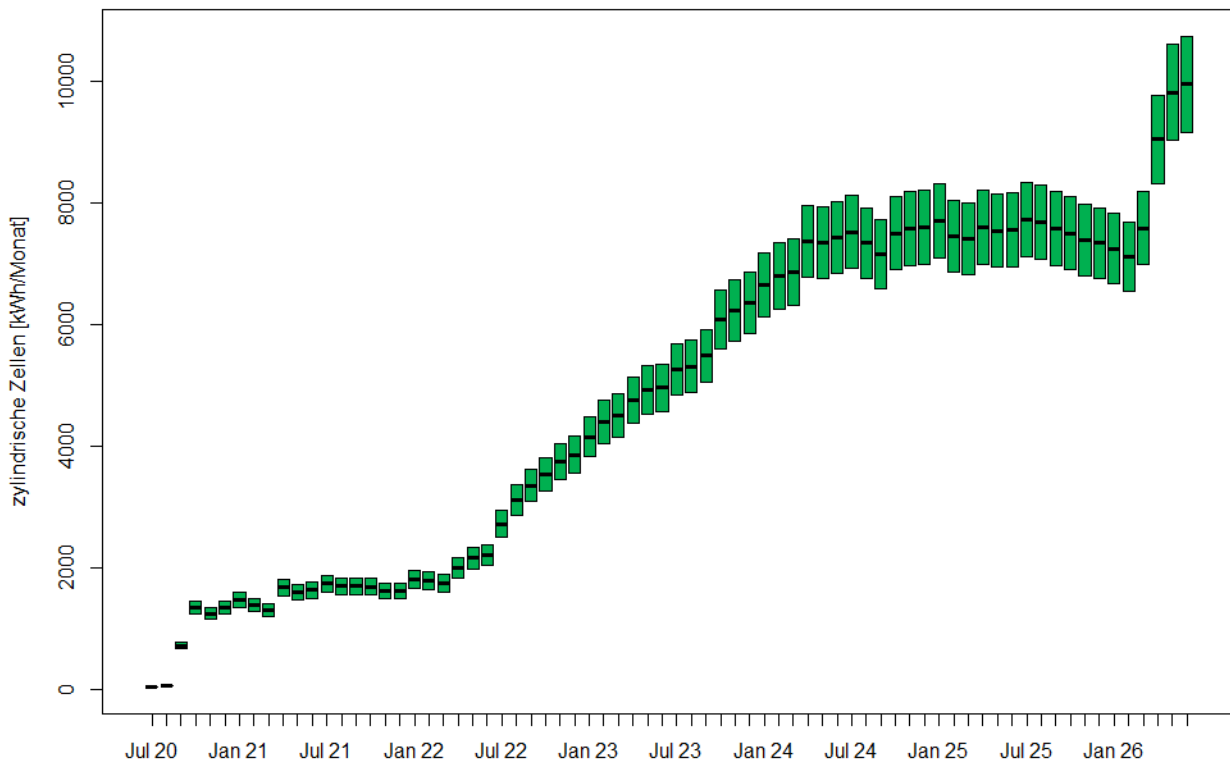
**Tabelle 8: Die Akkukapazitäten der jeweiligen Fahrzeuge. In Klammern sind die verfügbaren Akkugrößen ersichtlich. Die 81.5 %-Kapazität beschreibt die verfügbare second-life Kapazität.**

<b>Fahrzeug</b>	<b>Akkukapazität 100 % [kWh]</b>	<b>Akkukapazität 81.5 % [kWh]</b>
BMW i3	33.2 (22, 33.2, 42.2)	27.1
Renault ZOE	31.5 (22, 23.3, 41)	25.7
Tesla Model S	85 (60, 70, 75, 85, 90, 100)	69.3
Tesla Model X	90 (75, 90, 100)	73.4
Tesla Model 3	75	61.1

Da die Studie von Casals et al. (2017) die beschädigten Batterien und Batterien von Unfallwagen nicht berücksichtigt, werden weniger LIB verfügbar sein.

8-10 Jahre nach der Inbetriebnahme der Elektrofahrzeuge sind 70.19 % (Casals et al., 2017) der Akkuzellen mit einer Restkapazität zwischen 75 % und 88 % für second-life Verwendungen verfügbar. In den Jahren 2021 bis 2026 werden Speicherkapazitäten an prismatischen und Pouch second-life LIB von je 500 kWh bis 1'500 kWh pro Monat verfügbar sein. Zylindrische Zellen werden jedoch in grösseren Mengen (2'000 kWh bis 10'000 kWh pro Monat) verfügbar sein, weil diese von Tesla verwendet werden, die grosse Mengen an Autos mit grossen Akkus in der Schweiz verkauften. Wie die Verfügbarkeit der zylindrischen second-life LIB in den kommenden Jahren aussehen könnte, ist in Abbildung 18 ersichtlich.





**Abbildung 18: Anfallende zylindrische LIB mit einer Restkapazität zwischen 75 % und 88 %. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Mit den gewonnenen Erkenntnissen werden im nächsten Kapitel zwei Konzepte erstellt, wie eine autarke Ladestation aussehen könnte.

### 4.3 KONZEPTE

Die beiden Konzepte sollen möglichst viel elektrische Energie auf der Fläche eines Parkplatzes (5 m lang, 2.5 m breit) produzieren. Ein Konzept soll mobil sein, dafür den Parkplatz für sich beanspruchen, während das andere Konzept stationär sein soll, aber gleichzeitig genügend Platz für ein Fahrzeug lassen soll.

Einige der technischen Komponenten sind jeweils bei beiden Konzepten gleich und in Tabelle 9 aufgeführt.

**Tabelle 9: Technische Komponenten der Konzepte.**

Komponente	Marke	Modell
PV-Modul	JA Solar	JAM60S10-340/PR HC
Wechselrichter	SMA	Sunny Boy 4.0

Leistungsoptimierer	SMA	TS4-R-O-Duo
Batteriewechselrichter	SMA	Sunny Island 6.0H
Batteriespeicher	Sony	IJ1001M + IJ1004C
Ladestation A	Webasto	Pure
Ladestation B	KEBA	Wallbox 105.641 KeContact P30 x-series

Die in Tabelle 9 aufgeführten Solarmodule haben ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis bei einem Modul-Wirkungsgrad von 20.2 %. Es werden Leistungsoptimierer eingesetzt, damit Module mit verschiedenen Ausrichtungen zu einem String zusammengeschlossen werden können und verschattete Module nicht die Leistung von besonnten Modulen beeinträchtigen. Der Wechselrichter Sunny Boy 4.0 hat eine Ausgangsleistung von 4 kVA (SMA Solar Technology AG, o. J.-a) und eignet sich in Verbindung mit den Leistungsoptimierern.

Der Batteriespeicher ist an einen Batteriewechselrichter des Typs Sunny Island 6.0H der Firma SMA angeschlossen. Dieser Wechselrichter unterstützt den Inselbetrieb der autarken Ladestation und kann verschiedene LIB mit einer Spannung zwischen 41 V und 63 V und einer maximalen Kapazität von 10'000 Ah betreiben (SMA Solar Technology AG, o. J.-b). Der AC-Ausgang führt zur Ladestation «Pure» von Webasto, welche die Fahrzeuge mit einer Leistung von 3.7 kW lädt (Webasto Thermo & Comfort SE, 2018). Für Situationen, in welchen mehrere Personen ihre Elektrofahrzeuge an derselben mobilen Ladestation aufladen, kommt das Produkt «Wallbox 105.641 KeContact P30 x-series» von KEBA zum Einsatz. Bei diesem kann der Zugang mit Chipkarte gesteuert werden und die bezogenen Leistungen werden pro Nutzer aufgezeichnet (The Mobility House, o. J.).

Als Batteriespeicher wird der IJ1001M von Sony verwendet. In diesem sind zylindrische Zellen des Typs 18650 verbaut (Sony Corporation, 2009). Diese könnten in Zukunft durch die, ab dem Jahr 2021 in grossen Mengen anfallenden, second-life Zellen ausgetauscht werden.

Die gesetzlichen Vorgaben werden, wie im Folgenden beschrieben, eingehalten:

- Die Modulverkabelungen sind bei beiden Konzepten nach NIN 7.12.5.2 ohne Rohre verlegt, während die Stringleitungen durch Pilca-Rohre führen. Zudem sind die Stringleitungen mit einem Trennschalter versehen. Alle elektrisch leitenden Flächen sind an einen Tiefenerder angeschlossen, welcher je nach Untergrund angepasst ist und der NIN 5.4.2.2 entspricht.
- Die verwendeten Module sind für eine maximale Schneelast von 5.4 kN und einen maximalen Windsog von 2.4 kN ausgelegt (Solarmarkt GmbH, 2019).

#### 4.3.1 KONZEPT MOBIL

Bei diesem Konzept dient ein handelsüblicher PKW-Anhänger als Basis der autarken Ladestation. Da die maximale Höhe eines Anhängers nach Schweizer Verordnung auf 4 m beschränkt ist (VTS, 1995), muss der Anhänger eine möglichst geringe Höhe aufweisen. Das Modell TP der Firma Barthau eignet sich mit einer Ladehöhe von 0.580 m sehr gut. Da der Anhänger mit der Deichsel nicht über die Parkplatzfläche herausragen darf, beträgt die nutzbare Anhängerfläche 3.120 m mal 2.120 m. Dieses Anhängermodell kann eine Nutzlast zwischen 2090 kg und 2390 kg aufnehmen. (Barthau Anhängerbau, 2017)



**Abbildung 19: Visualisierung der mobilen, autarken Ladestation. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Auf dem Anhänger finden insgesamt 24 PV-Module Platz. Je vier Module an Vorder-, Rückseite und Dach und je sechs Module an den beiden langen Seiten. In Abbildung 19 ist eine Visualisierung dieses Konzepts ersichtlich, welche mit dem Programm SketchUp erstellt wurde. (Trimble Inc., 2017). Die Generatorleistung beläuft sich auf 8.16 kWp.

Tabelle 10: Leistungen und zu erwartende Erträge auf einem durchschnittlichen Parkplatz.

Generatorfläche	Peak-Leistung der Fläche [kW]	Anteil der Einstrahlung [%]	Jahresertrag bei 600 Volllaststunden [kWh]
Oben	1.36	37.00	301.92
Vorne	1.36	15.75	128.52
Hinten	1.36	15.75	128.52
Links	2.04	15.75	192.78
Rechts	2.04	15.75	192.78
<b>Total</b>	<b>8.16</b>		<b>944.52</b>

In Tabelle 10 sind die Modulflächen und der zu erwartende Jahresertrag aufgeführt. Die Volllaststunden richten sich nach der Sonneneinstrahlung im Schweizer Mittelland, welche zirka 950-1000 Volllaststunden pro Jahr beträgt (Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, 2018) und der durchschnittlichen, nutzbaren Solarstrahlung nach den Horizontmessungen auf Parkplätzen (60%).

Jeweils zwei PV-Module sind an einen Leistungsoptimierer angeschlossen und sechs Leistungsoptimierer zu einem String verbunden. So führen zwei Strings à 12 Module zum Wechselrichter. Der Wechselrichter ist mit seiner Ausgangsleistung von 4 kVA im Vergleich zu der Peak-Leistung vom PV-Generator deutlich unterdimensioniert. Da aber nie alle Seiten des PV-Generators zur selben Zeit die volle Leistung erbringen, ist dieser Wechselrichter ausreichend. In Abbildung 20 ist die Verschaltung der Komponenten ersichtlich.

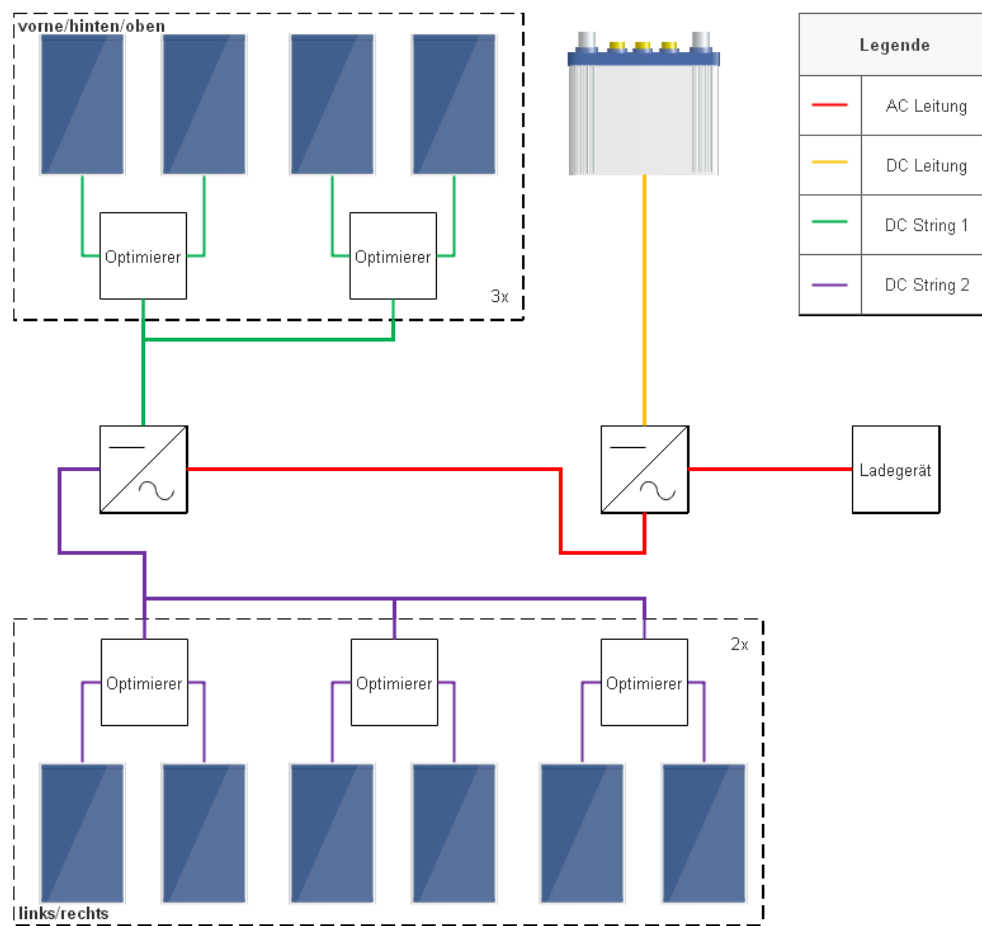


Abbildung 20: Stringplan des mobilen Konzepts. Quelle: Eigene Grafik (2019).

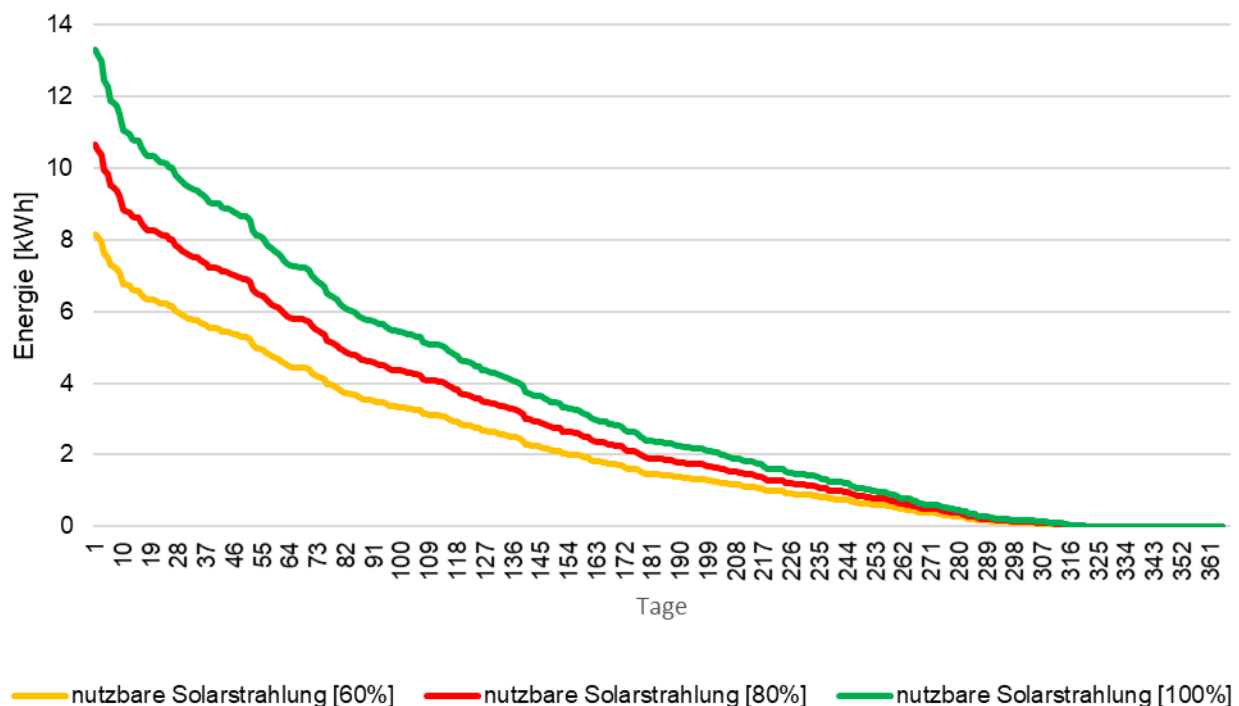
Alle AC-Leitungen sind einphasig, weil die damit verfügbare Leistung für das Laden von Fahrzeugen über die Nacht ausreicht.

Der PV-Generator dieses Konzepts produziert jährlich 950 kWh bei einem durchschnittlichen Parkplatz und maximal 1550 kWh bei einem sehr sonnigen Parkplatz. Durch die Wechselrichter und die Batterie entstehen jedoch Verluste, die in Tabelle 11 dargestellt sind.

Tabelle 11: Verluste des mobilen Konzepts.

System	Wirkungsgrad [%]	Energie Input [kWh]	Energie Output [kWh]
PV-Wechselrichter	97.4	950-1550	925-1510
Batterie-Wechselrichter	95.8	925-1510	886-1446
Batterie	90	886-1446	798-1302

In Abbildung 21 ist die Jahresproduktion unter Berücksichtigung der Verluste, in Tagesproduktionen aufgeteilt. Dazu wurden die Globalstrahlungsdaten des Standardjahres mit Hilfe des Programms Meteonorm (Meteotest AG, 2018) im Demomodus verwendet. Als Standort wurde die Stadt Bern ausgewählt.



**Abbildung 21: Tagesproduktion des mobilen Konzepts übers Jahr nach Ertrag sortiert. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die benötigten 6.4 kWh – 8.8 kWh Energie pro Tag, welche in Kapitel 2.5 berechnet wurden, werden je nach Verschattung nur an vereinzelten Tagen erreicht. Bei einem durchschnittlichen Parkplatz mit einer nutzbaren Solarstrahlung von 60% wird an keinem Tag eine Energie von 8.8 kWh produziert und nur an 16 Tagen pro Jahr eine Energie von 6.4 kWh oder mehr. Ist die nutzbare Solarstrahlung jedoch 80% so wird an elf Tagen eine Energie von mindestens 8.8 kWh und an 55 Tagen über 6.4 kWh produziert. Bei 100 % nutzbarer Solarstrahlung steigen die Anzahl Tage auf 45 bei 8.8 kWh und 77 bei 6.4 kWh.

Die optimale Batteriegrösse ist nach einer Simulation mit dem Programm Stella Architect (isee systems, 2019) abhängig von der nutzbaren Solarstrahlung und dem täglichen Verbrauch (Tabelle 12). Die Details der Simulation sind in Anhang E ersichtlich.

**Tabelle 12: Batteriekapazität des mobilen Konzepts nach Verbrauch und nach der nutzbaren Solarstrahlung am Standort des Parkplatzes.**

Nutzbare Solarstrahlung [%]	Kapazität Batterie [kWh]	
	Verbrauch pro Tag 6.4 [kWh]	Verbrauch pro Tag 8.8 [kWh]
<b>60</b>	9.2	8.8
<b>80</b>	16.8	11.23
<b>100</b>	26.1	18.64

In diesem Konzept sind 14 Stück der IJ1001M-Batterien von Sony mit einer nutzbaren Kapazität von 16.8 kWh in Verbindung mit dem IJ1004C Controller eingebaut (Sony Europe Ltd., o. J.-a; Sony Europe Ltd., o. J.-b). Mit dieser Kapazität kann 100% der Energieproduktion verwendet werden, wenn auf dem Parkplatz 60 % - 80 % nutzbare Solarstrahlung anfällt und der tägliche Verbrauch 6.4 kWh – 8.8 kWh beträgt.

Mit dem mobilen Konzept kann im Zeitraum vom 1. März bis 30. September ein Energieverbrauch von 2.3 kWh zu 100 % und ein Energieverbrauch von 3.6 kWh zu 85 % gedeckt werden, bei einer nutzbaren Solarstrahlung von 80 %. Liegt die nutzbare Solarstrahlung bei 60%, so kann ein Energieverbrauch von 2.1 kWh zu 100 % und ein Energieverbrauch von 2.9 kWh zu 85 % gedeckt werden. Die, mit diesem Konzept, jährlich erzeugte Energie hat laut Energiewerke Zürich (2019) einen Wert zwischen CHF 140.- und CHF 222.- (Vergleich mit dem EWZ Ökopower Niedertarif) pro Jahr.

#### 4.3.2 KONZEPT STATIONÄR

Das stationäre Konzept stellt eine Ladestation in Form eines Carports dar. Diese Ladestation ist am Boden mit Punktfundamenten fixiert und braucht eine Baubewilligung, da die Abmessungen die Masse von bewilligungsbefreiten Kleinbauten überschreiten (siehe Kapitel 2.3.3).

Die stationäre Ladestation weist ein Dach auf, welches die Dimensionen eines Parkfeldes leicht überschreitet (5.10 m x 3.40 m). Dies zu Gunsten der PV-Modul Anzahl, welche auf der ertragreichen Dachfläche Platz finden. Die Visualisierung, der mit 22 PV-Modulen bestückten Ladestation ist in Abbildung 22 ersichtlich (Trimble Inc., 2017). Die Höhe der Ladestation kann an die maximale Fahrzeughöhe angepasst werden. Damit eine Person aufrecht stehen kann, ist eine Höhe bis zur Unterkante der Anlage von 2 m sinnvoll. Die Gesamthöhe beträgt in diesem Fall 3.12 m.



**Abbildung 22: Visualisierung der stationären, autarken Ladestation. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die Modulflächen und der zu erwartende Jahresertrag auf einem durchschnittlichen Parkplatz sind in Tabelle 13 aufgeführt. Aufgrund der grossen Dachfläche kann dieses Konzept knapp 200 kWh mehr Energie pro Jahr produzieren als das mobile Konzept, obwohl die Modulanzahl um zwei Stück geringer ist.

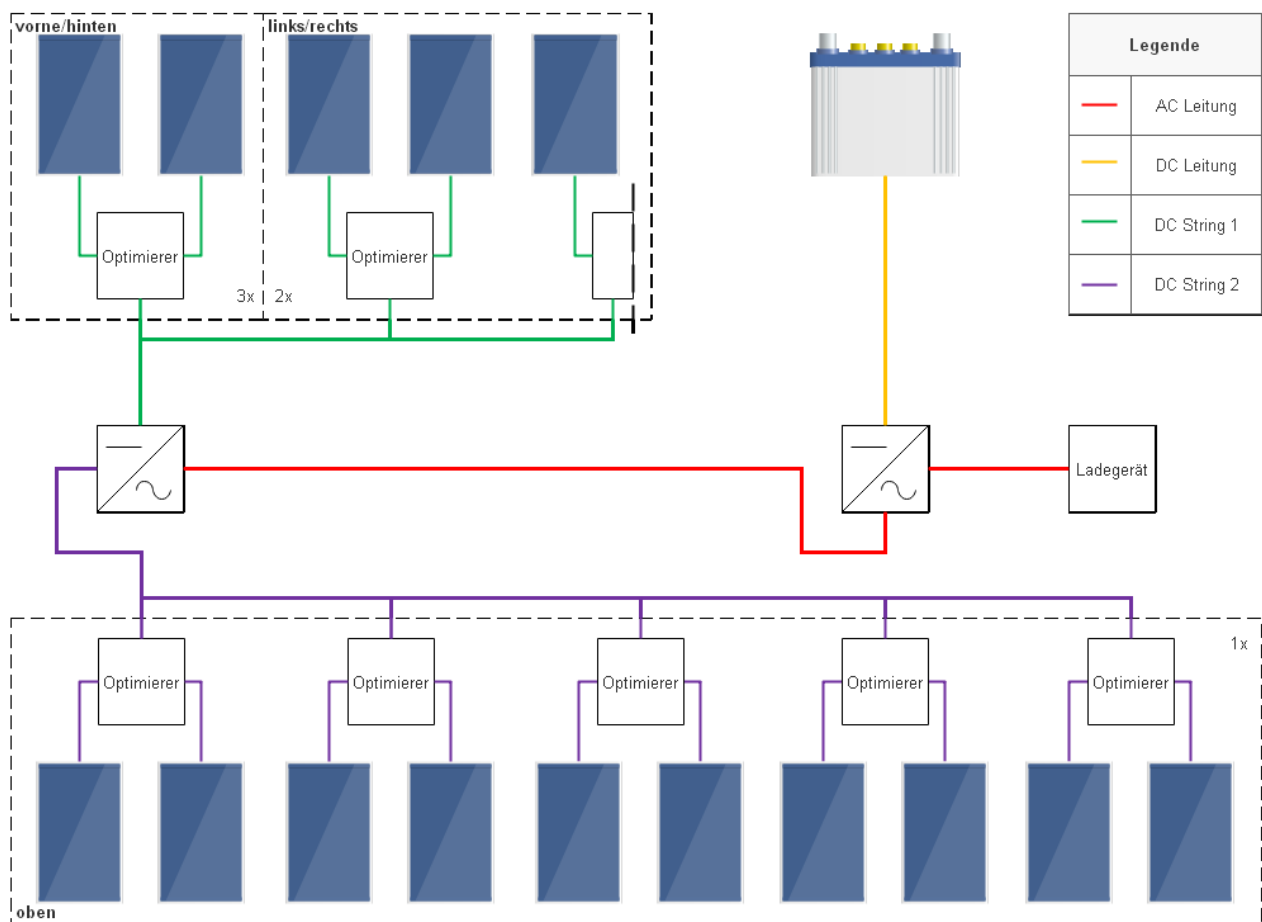
**Tabelle 13: Leistungen und zu erwartende Erträge auf einem durchschnittlichen Parkplatz.**

Fläche	Peak-Leistung der Fläche [kW]	Anteil der Einstrahlung [%]	Jahresertrag bei 600 Volllaststunden [kWh]
Oben	3.4	37.00	754.8
Vorne	1.36	15.75	128.52
Hinten	0.68	15.75	64.26
Links	1.02	15.75	96.36
Rechts	1.02	15.75	96.36
<b>Total</b>	<b>8.16</b>		<b>1140.3</b>



Wie im Konzept «Mobil» erläutert, berechnen sich die zu erwartenden Volllaststunden nach der durchschnittlichen Sonneneinstrahlung im Schweizer Mittelland und der Messergebnisse (Kapitel 4.1).

Aufgrund der möglichen, punktuellen Verschattungen auf Parkplätzen sind auch in diesem Konzept alle Module an Leistungsoptimierer angeschlossen. Zwei Module pro Leistungsoptimierer und fünf Leistungsoptimierer sind zu einem String verbunden. So führt ein String à 10 Module von der Dachfläche und ein String à 12 Module von allen Seitenflächen zu einem Wechselrichter (Abbildung 23).



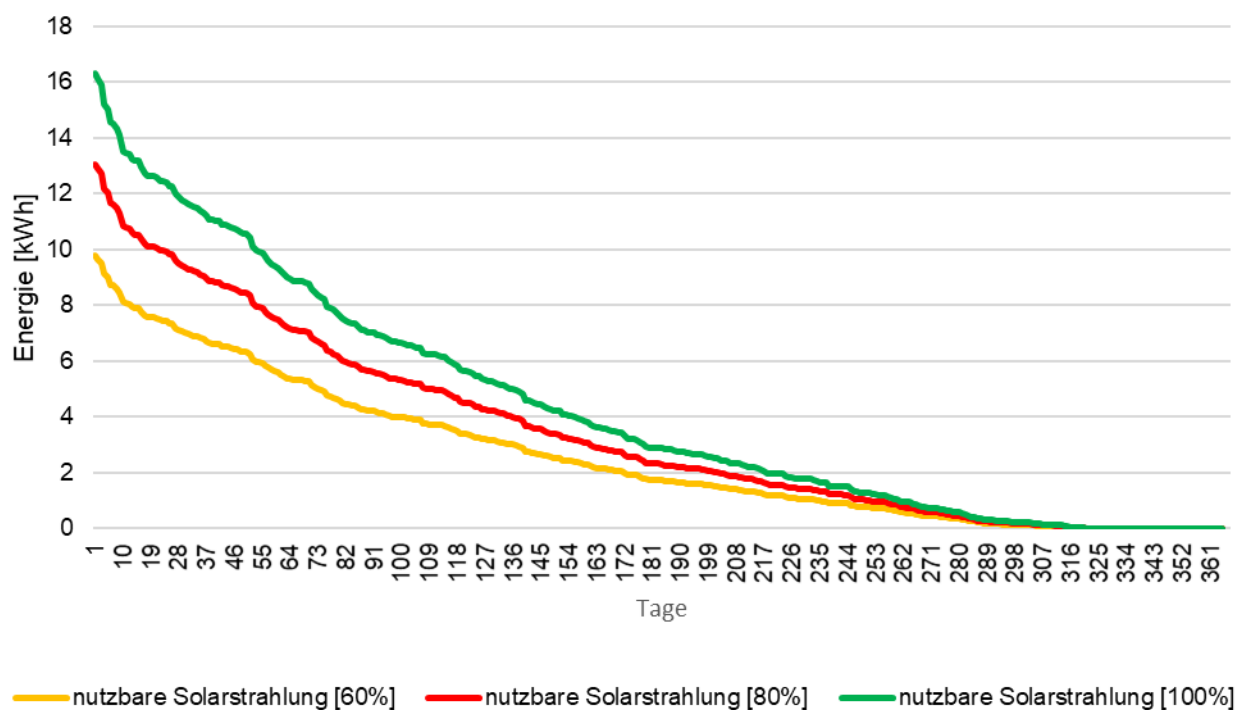
**Abbildung 23: Stringplan des stationären Konzepts. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die Verluste im System belaufen sich auf 16 %. In Tabelle 14 sind die einzelnen Faktoren dazu ersichtlich. Die Kabelverluste sind nicht berücksichtigt, da die Distanzen relativ kurz sind und ein 4 mm<sup>2</sup> Kabel einen Widerstand von 5.09 mΩ/m aufweist (Leoni, 2016).

Tabelle 14: Verluste des stationären Konzepts.

System	Wirkungsgrad [%]	Energie input [kWh]	Energie output [kWh]
PV-Wechselrichter	97.4	1140-1900	1110-1851
Batterie- Wechselrichter	95.8	1110-1851	1046-1773
Batterie	90	1046-1773	957-1596

Die zu erwartende Jahresproduktion auf einem Parkplatz mit einer nutzbaren Solarstrahlung von 60 %, 80 % oder 100 % ist in Abbildung 24 in die Tagesproduktionen aufgeteilt und nach Ertrag sortiert. Die benötigten 6.4 kWh werden an 46 bis 105 Tagen pro Jahr erreicht. 8.8 kWh und mehr werden an 5 bis 69 Tagen pro Jahr produziert.



**Abbildung 24: Tagesproduktion des stationären Konzepts übers Jahr nach Ertrag sortiert. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

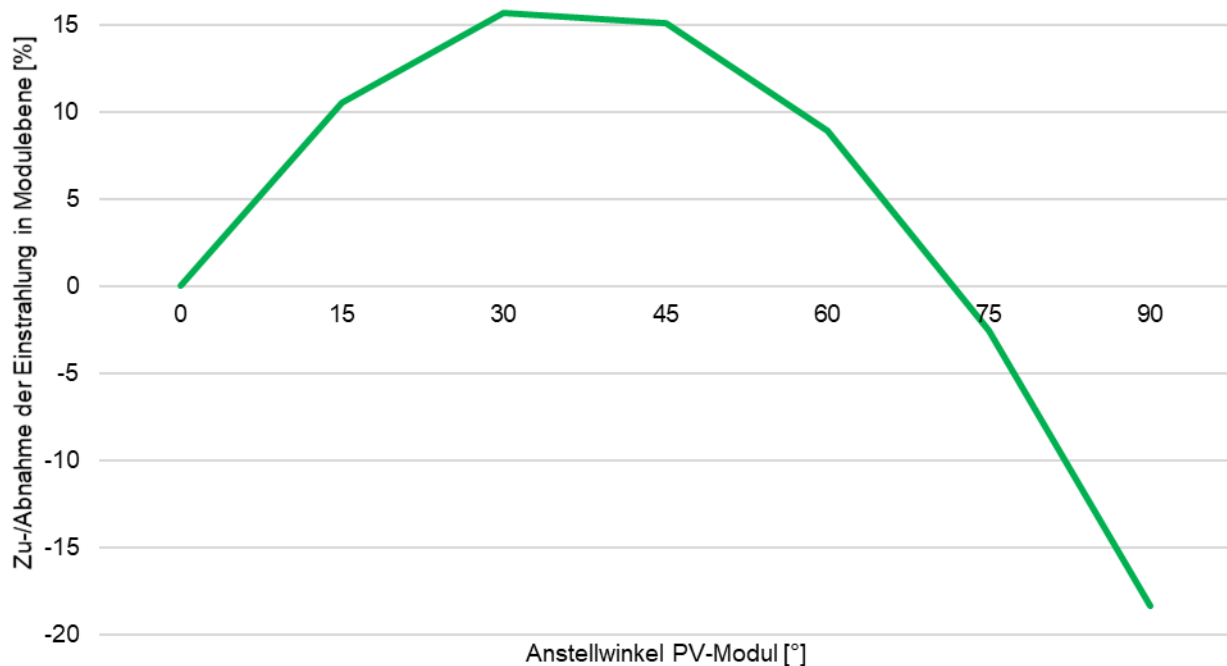
Nach der Simulation mit Stella Architect beträgt die Batteriekapazität in diesem Konzept 19.2 kWh. Dies entspricht 16 Stück der Sony IJ1001M-Batterien und ist die maximale Anzahl in Verbindung mit dem IJ1004C Controller (Sony Europe Ltd., o. J.-b). Bei einer nutzbaren Sonneneinstrahlung von 60 %, kann damit die gesamte Energieproduktion genutzt werden (Verbrauch 6.4 kWh / 8.8 kWh pro

Tag). Liegt die nutzbare Sonneneinstrahlung bei 80% oder mehr, kann je nach Verbrauch eine nicht benutzbare Überproduktion entstehen (Tabelle 15).

**Tabelle 15: Batteriekapazität des stationären Konzepts nach Verbrauch und nach der nutzbaren Solarstrahlung am Standort des Parkplatzes.**

Nutzbare Solarstrahlung [%]	Kapazität Batterie [kWh]	
	Verbrauch pro Tag 6.4 [kWh]	Verbrauch pro Tag 8.8 [kWh]
<b>60</b>	13.9	9.8
<b>80</b>	25.1	17.8
<b>100</b>	29.6	28.8

Während sich beim mobilen Konzept die Anstellwinkel der PV-Module auf der Dachfläche, aufgrund der gesetzlichen Maximalhöhe, nicht ändern lassen, kann beim stationären Konzept durch ein Anstellen der Module eine höhere Einstrahlung erzielt werden. In Abbildung 25 ist die Zu- und Abnahme der Einstrahlung auf die Module auf der Dachfläche im Vergleich zu der flachen Anordnung ersichtlich. Dies wurde mit der Funktion «loggen und parametrisieren» des Programms Polysun (Vela Solaris AG, o. J.) simuliert. Ein Anstellwinkel von 30° in Richtung Süden erbringt eine um 16 % höhere Sonneneinstrahlung auf die Module als ein Anstellwinkel von 0°.

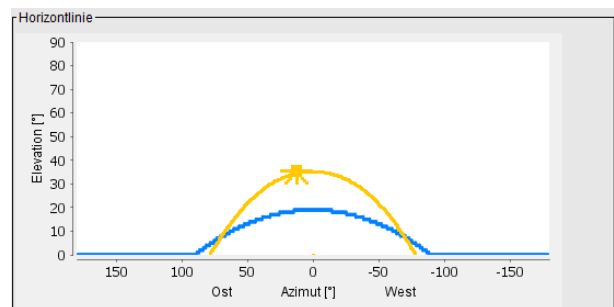
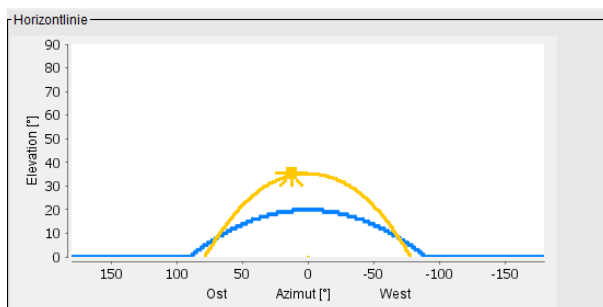


**Abbildung 25: Abhängigkeit der Einstrahlung auf die PV-Module zum Anstellwinkel. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Indem die PV-Module auf der Dachfläche angestellt werden, steigt mit zunehmendem Winkel die Eigenverschattung. Um dieser entgegenzuwirken, muss zwischen den PV-Modulreihen ein Abstand eingehalten werden. Der einzuhaltende Abstand bei einem Anstellwinkel von 10° und 30° ist in Abbildung 26 ersichtlich. Der in Sonnenpfad gilt für den 1. März.

Anstellwinkel 10°, Modulabstand 0.5 m

Anstellwinkel 30°, Modulabstand 1.5 m



**Abbildung 26: Eigenverschattung der PV-Module bei einem Anstellwinkel von 10° und 30° mit einem Reihenabstand von 0.5 m und 1.5 m (Vela Solaris AG, o. J.).**

Durch den Abstand finden auf der Dachfläche sechs Module (Anstellwinkel 10°) oder vier Module (Anstellwinkel 30°) Platz. Daher lohnt sich eine Ausrichtung nach Süden mit einem Anstellwinkel trotz der Steigerung der Einstrahlung nicht. Eine Ost/West Anordnung mit verschiedenen Anstellwinkeln, ergibt nach einer Polysun Simulation keinen Mehrertrag (Vela Solaris AG, o. J.).

Wenn, je nach Standort, eine Seite des stationären Konzepts nach Süden ausgerichtet ist, könnte das gesamte Dach um 15° in Richtung Süden geneigt werden (Abbildung 27).



**Abbildung 27: Stationäres Konzept mit um 15° geneigtem Dach. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die Gesamthöhe vergrössert sich durch die Neigung um knapp 1.6 m auf 4.7 m. Bei einer nutzbaren Solarstrahlung von 60 % erhöht sich die jährliche Energieproduktion der gesamten Ladestation um 75.5 kWh oder 6.6 %. Im Folgenden werden die Berechnungen ohne geneigtem Dach gemacht, da dieses nicht an jedem potentiellen Standort realisierbar ist.

Mit dem stationären Konzept kann im Zeitraum vom 1. März bis 30. September ein Energieverbrauch von 2.6 kWh zu 100 % und ein Energieverbrauch von 4.2 kWh zu 85 % gedeckt werden, bei einer nutzbaren Solarstrahlung von 80 %. Ist die nutzbare Solarstrahlung bei 60%, so kann ein Energieverbrauch von 2.2 kWh zu 100 % und ein Energieverbrauch von 3.4 kWh zu 85 % gedeckt werden. Die erzeugte Energie hat einen Wert zwischen CHF 166.- und CHF 272.- pro Jahr (Vergleich mit EWZ Ökopower Niedertarif, Energiewerke Zürich, 2019). Die Simulation, welche mit Stella Architect (isee systems, 2019) erstellt wurde ist auf folgender Internetseite abrufbar:

<https://exchange.iseesystems.com/public/lukasglauser/autarke-ladestation>. Der QR-Code wurde erstellt mit QRCode-Generator.de (2019).



Die Ergebnisse und der mögliche Nutzen der Konzepte werden im nächsten Kapitel diskutiert.

## 5 DISKUSSION

Die steigende Nachfrage nach Elektrofahrzeugen zeigt sich an den erhöhten Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen (Kapitel 4.2). Da über die Hälfte der Schweizerinnen und Schweizer in Miete wohnen, können diese nicht selbst bestimmen, ob eine Ladestation an ihrem Parkplatz installiert wird oder nicht. Der Hauseigentümer-Verband macht unter anderem auf die Hausanschlüsse aufmerksam, welche jedoch oft nicht für mehrere Ladestationen ausgelegt sind. Auch die, in der Einleitung erwähnten, unterschiedlichen Erneuerungszyklen von Fahrzeugflotten und Wohnbauten werden erwähnt (HEV Schweiz, 2019). Diese Hürden könnten mit netzunabhängigen Ladestationen, welche keine baulichen Massnahmen voraussetzen, umgangen werden.

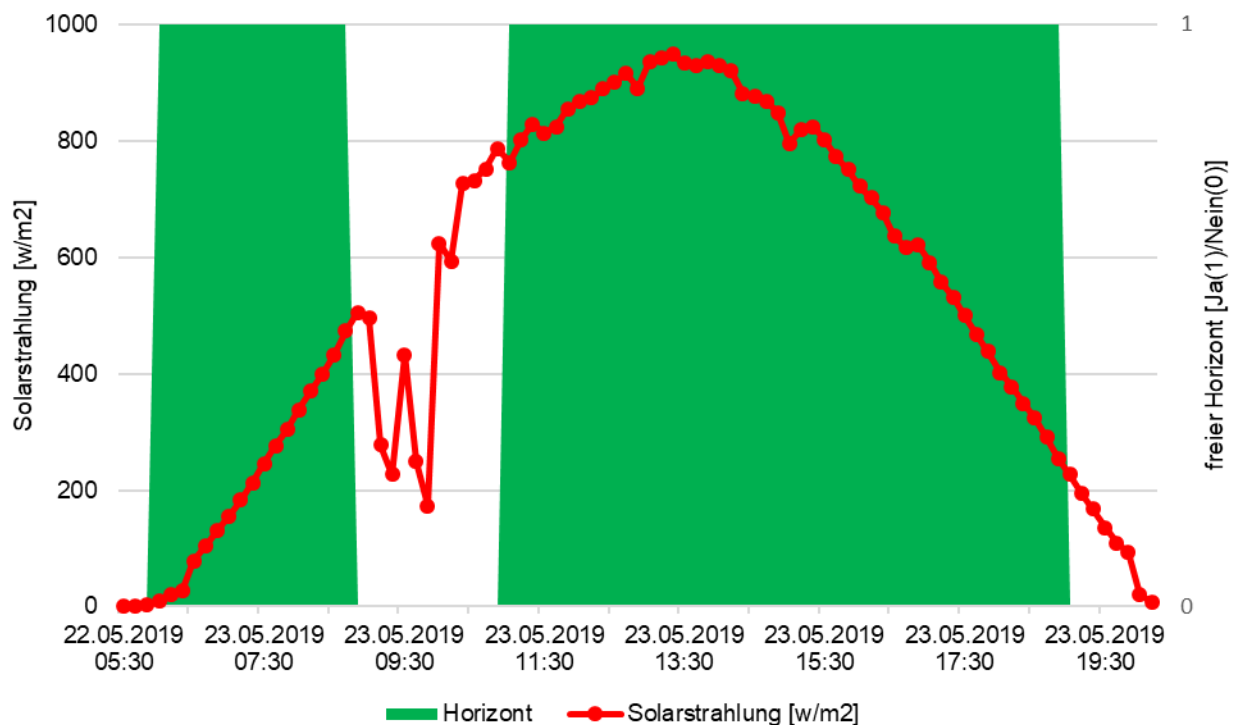
Die Messungen der Parkplätze mit Hilfe von Horizontaufnahmen zeigen sehr grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Parkplätzen, auch innerhalb derselben Kategorie. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Kategorien kann, wie in den Messergebnissen aufgezeigt, nicht festgestellt werden. Die Anzahl der untersuchten Parkplätze ist jedoch klein, so dass diese Aussage nicht verallgemeinert werden kann. Für die Horizontaufnahmen wurde jeweils ein Parkfeld ausgewählt. Da bei grösseren Überbauungen und Siedlungen aber oft mehrere Parkfelder verfügbar sind, könnten gezielt die sonnigeren Parkfelder für eine autarke Ladestation ausgewählt werden.

Die Horizontaufnahmen, aufgrund welcher die Beschattung berechnet wurde, zeigen jeweils nur die Verschattung eines Punktes. Im Fall dieser Aufnahmen den Punkt im hinteren Drittel des Parkfeldes in Höhe von einem Meter. Die im Kapitel 4.3 konzeptionierten Ladestationen haben jedoch eine Höhe von drei bis vier Metern. In dieser Höhe kann die Verschattung von den Messergebnissen erheblich abweichen, da beispielsweise Hecken oder Sichtschutzwände niedriger sind (siehe Visualisierung Abbildung 28). Es könnten daher auf Basis der Konzepte erneut Horizontaufnahmen erstellt werden, welche genauere Ergebnisse generieren.



**Abbildung 28: Visualisierung des Standortes der Horizontaufnahme in einem Meter Höhe (roter Kasten) im Vergleich mit einer zwei Meter hohen Hecke (grüner Hintergrund) und den Ladestationen. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die Einstrahlungsmessungen fanden an 15 Tagen im Zeitraum von Ende Mai und Anfang Juni 2019 statt. Da zu dieser Zeit die Sonne fast den Höchststand erreicht, zeigen die Messergebnisse nur einen Zeitpunkt im Jahr, der eine hohe Einstrahlung hat. Die Horizontaufnahmen zeigen beim direkten Vergleich mit der Einstrahlungsmessung folgendes Bild (Abbildung 29):



**Abbildung 29: Vergleich zwischen der Horizontaufnahme und der Messung beim Parkplatz P1. Quelle: Eigene Grafik (2019).**

Die Horizontaufnahme kennt nur die Optionen freier Horizont Ja oder Nein. Dies ist in Abbildung 29 zwischen 8 Uhr und 11 Uhr gut ersichtlich: Die Daten der Horizontaufnahme geben zu diesem Zeitpunkt keine nutzbare Solarstrahlung, während die Messungen der Strahlung innerhalb derselben Zeit eine, wenn auch kleinere, Solarstrahlung aufzeichnen. Zudem ist die Verschattung auf der Horizontaufnahme über eine längere Zeit aktiv, als tatsächlich bei der Strahlungsmessung wahrgenommen (Bereich zwischen 10 Uhr und 11 Uhr). Die durchschnittliche nutzbare Solarstrahlung der untersuchten Parkplätze, könnte in der Realität über den berechneten 60 % liegen. Ob dies im Frühling, Herbst und Winter auch so ist, müsste mit weiteren Messungen überprüft werden. Da trotz Verschattung noch Energie gewonnen werden kann, sind die Resultate der Horizontmessungen als konservativ zu beurteilen.

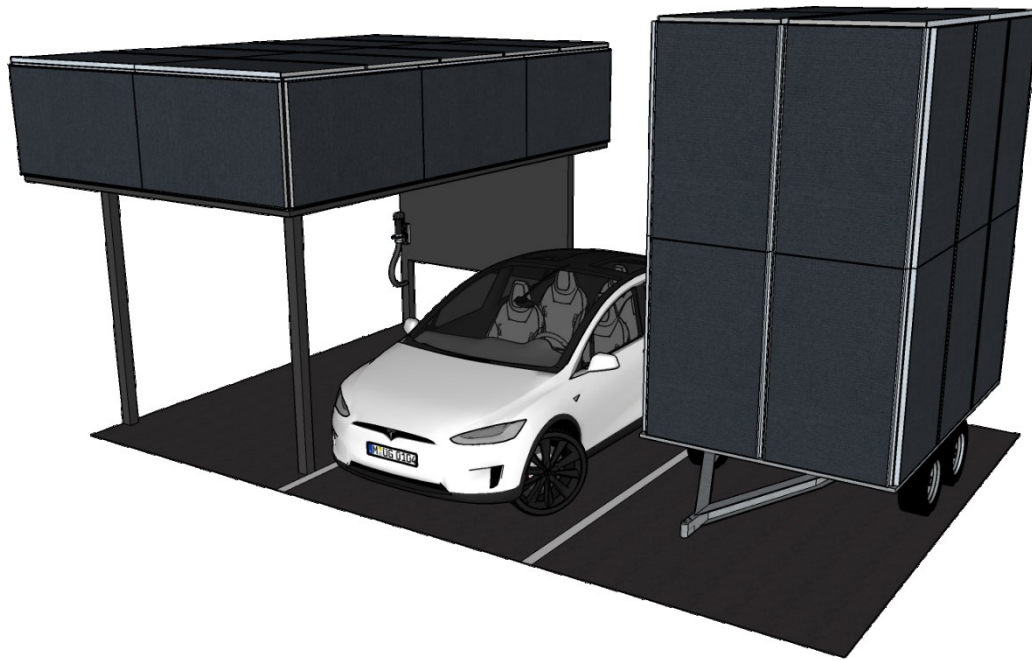
Die Untersuchungen der second-life Akkus zeigen, dass dieser Markt in Zukunft stark wachsen wird. Nach heutigen Daten werden in der Schweiz die zylindrischen Zellen einen grossen Anteil der second-life Speicherkapazitäten ausmachen. Der Zeitraum, ab welchem die Zellen verfügbar sein werden und in welcher Menge ist jedoch unsicher. Nach Quellenangaben beträgt die in Kapitel 4.2 angegebene Lebensdauer der Akkus in Fahrzeugen 8-10 Jahre. Betrachtet man jedoch die Daten von 350 Teslafahrern, könnte die Lebensdauer 800'000 km betragen (Schmidt, 2018). Bei einer hohen, jährlichen Laufleistung von 20'000 km entspräche dies einer Lebensdauer von 40 Jahren. Falls dieses Szenario zutrifft, müsste die Lebensdauer der Fahrzeuge untersucht werden, und ob



die Akkus allenfalls ein zweites Mal in ein Fahrzeug eingebaut werden. So könnte sich der Zeitpunkt, zu welchem grössere Mengen second-life Akkus verfügbar sind in die ferne Zukunft verschieben. In einer Studie zeigen Saxena, Le Floch, MacDonald & Moura (2015) zudem auf, dass die LIB in Fahrzeugen ihre Lebensdauer nicht zwingend bei einer Restkapazität um die 80 % erreicht haben. Falls die LIB, wie nach Saxena et al. (2015), bis zu einer Restkapazität von 50 % oder sogar 30 % in einem Fahrzeug verwendet werden, wird die verfügbare Kapazität an second-life Akkus zwar deutlich kleiner, aber mit 600 kWh bis 5'000 kWh neuer second-life Speicherkapazität pro Monat trotzdem für viele stationäre Anwendungen ausreichen. Durch die geringere Energiedichte der LIB-Zellen, würde in diesem Szenario der Speicher mehr Platz in den autarken Ladestationen beanspruchen, welcher aber verfügbar wäre.

Die beiden Konzepte nutzen den verfügbaren Platz eines Parkfeldes aus. Trotzdem kann ein durchschnittlicher Parkplatz mit einer nutzbaren Solarstrahlung von 60% den Energiebedarf der üblichen Elektroautos nicht gedeckt werden. Das mobile Konzept könnte höchstens mit leistungsstärkeren PV-Modulen bestückt werden, während das stationäre Konzept höher gebaut werden könnte, damit eine zusätzliche, vertikale Reihe PV-Module Platz finden würde. Pro zusätzliche Reihe könnte der Jahresertrag um 270 kWh erhöht werden, bei einer nutzbaren Solarstrahlung von 60 %. Doch auch vier zusätzliche vertikale PV-Modul-Reihen würden den Energiebedarf eines üblichen Elektroautos nicht decken (Simulation mit Stella Architect, isee systems, 2019). Auch würde sich die Frage stellen, ob ein zirka 8 m hoher Carport bei den Anwohnern und Anwohnerinnen akzeptiert würde. Eine Optimierung der Konzepte, ohne äusserliche Veränderung könnte durch das Ersetzen von Komponenten erreicht werden. Durch den doppelten Einsatz von Wechselrichter gehen zirka 7 % der Energie verloren. Indem die Batterien direkt mit Gleichstrom der PV-Module aufgeladen werden, könnte dieser Verlust verkleinert werden.

Die Konzepte der Ladestationen (Abbildung 30) könnten in Zukunft eine Möglichkeit sein, kleinere und grössere Elektrofahrzeuge teilweise mit Energie zu versorgen. Je nach Verschattung des Standortes müsste mehr oder weniger häufig eine öffentliche Ladestation das Energiedefizit überbrücken. Wenn die Elektrofahrzeuge in Zukunft effizienter und möglichst kleine Fahrzeuge eingesetzt werden, könnte an einem sonnigeren Parkplatz mit 80% nutzbarer Solarstrahlung ein Fahrzeug im Frühling, Sommer und Herbst mit dem stationären Konzept zu einem grossen Teil betrieben werden. In einer Studie haben die Autoren Neumann, Schär & Baumgartner (2012) das Potential von PV-Carports auf grossen Parkplätzen untersucht und kamen zu der Aussage, dass Parkplätze eine nutzbare Solarstrahlung von 90 % und mehr aufweisen müssen, um ökonomisch sinnvoll zu sein. Da aber diese Studie älter ist und der Wirkungsgrad von Solarmodulen gestiegen ist, könnten heute auch Parkplätze mit einer grösseren Verschattung genutzt werden. Auch wurde in der Studie von Neumann et al. (2012) kein Speicher verwendet, der die Investitionskosten stark erhöht.



**Abbildung 30: Visualisierung der beiden Konzepte. Quelle: Eigene Grafik (2019), Fahrzeug von Brandon (2018).**

Ob sich wirtschaftlich eine solche Ladestation lohnt, müsste in weiteren Untersuchungen berechnet werden. Bei einem Strompreis von 0.2 CHF/kWh würde das stationäre Konzept bei einer 20-jährigen Lebensdauer Energie im Wert von 3'800 CHF bis 6'400 CHF produzieren. Die Investitionskosten wären deutlich höher. Wenn durch die autarke Ladestation jedoch keine neuen Stromleitungen verlegt werden müssten, könnten diese Einsparungen von den Investitionskosten abgezogen werden. Entscheidend wird zudem der zukünftige Markt an second-life Akkus sein, da heute die Stromspeicher für solche Anwendungen zu teuer sind.

In einem nächsten Schritt sollte eine grössere Anzahl an Parkplätzen unter Berücksichtigung der Konzepte auf die nutzbare Solarstrahlung untersucht werden. Durch die grössere Stichprobenanzahl könnte eine Signifikanz zwischen den Parkplatzkategorien sichtbar machen, womit eine Kategorisierung möglich wird. Auch sollte die Solarstrahlung über mehrere Jahreszeiten gemessen werden, um genauere Daten zu gewinnen. Anhand dieser Erkenntnisse könnte eine wirtschaftliche Analyse erstellt werden und bei positiven Ergebnissen ein Prototyp einer autarken Ladestation gebaut werden.

## 6 LITERATUR

ADAC. (2018, Oktober 12). Test: Stromverbrauch von Elektroautos | ADAC. Zugriff am 3.7.2019.

Verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

ADAC. (2019, Mai 21). Tesla Model 3 (2019): Test, Preis, Reichweite, Bilder, Daten | ADAC.

Zugriff am 3.7.2019. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/tesla-model-3/>

BAFU / EUA, MeteoSchweiz. (2019). Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

- Messwerte. Zugriff am 27.5.2019. Verfügbar unter:

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/messwerte.html?param=messwerte-sonnenscheindauer-10min>

Barthau Anhängerbau. (2017, Dezember). Toplader eco + Spedition TopZurr Anhänger. Zugriff am

9.7.2019. Verfügbar unter:

[https://www.barthau.de/downloads/artikel/262/Speditionsanhaenger\\_TP](https://www.barthau.de/downloads/artikel/262/Speditionsanhaenger_TP)

Brandon, W. (2018, Oktober 17). Brandon W. | 3D Warehouse. Zugriff am 10.7.2019. Verfügbar

unter: <https://3dwarehouse.sketchup.com/user/5c50b63b-e01f-47ca-8715-7d0808e41107/Brandon-W?tab=models>

Bundesamt für Statistik. (2017a). Bewohnertyp der bewohnten Wohnungen - 2017 | Diagramm.

Zugriff am 11.3.2019. Verfügbar unter:

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/grafiken.assetdetail.7346287.html>

Bundesamt für Statistik. (2017b). Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Zugriff am 3.7.2019.

Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/verkehrsverhalten.html>

Bundesamt für Statistik. (2018a). Gebäudegrösse. Zugriff am 29.3.2019. Verfügbar unter:

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/gebaeude/groesse.html>

Bundesamt für Statistik. (2018b). Infrastruktur und Streckenlänge. Zugriff am 26.3.2019. Verfügbar

unter: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/streckenlaenge.html>

Bundesamt für Statistik. (2019, Januar 31). Fahrzeuge und Transportmittelbestände des

Personenverkehrs - 1960-2018 | Tabelle. Zugriff am 26.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.assetdetail.7226316.html>

Casals, L. C., García, B. A. & Cremades, L. V. (2017). Electric vehicle battery reuse: Preparing for a second life. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10(2), 266–285.

<https://doi.org/10.3926/jiem.2009>

Ciferri, L. (2016, Dezember 13). Renault and Nissan will use common platform for EVs. *Automotive News Europe*. Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter:

<https://europe.autonews.com/article/20161213/ANE/161219979/renault-and-nissan-will-use-common-platform-for-evs>

Electric Car Parts Company. (2019). *Lithium Pouch Battery 20Ah 3.2V 1-3C Bestgo Power Pouch Cell*. Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter:

<http://www.electriccarpartscompany.com/assets/images/hk-8a-lithiumpouchcell8ah.jpg>

Electrosuisse. (2015). *Niederspannungs-Installationsnorm (NIN) SN 411000:2015 = Norme sur les installations à basse tension (NIBT) = Norma per le installazioni a bassa tensione (NIBT)*.

Fehraltdof: Electrosuisse.

Energiewerke Zürich. (2019). Stromkostenrechner - Stadt Zürich. Zugriff am 22.7.2019. Verfügbar

unter: <https://www.ewz-stromkostenrechner.stadt-zuerich.ch/#/lt:1596>

- Engel, A. (2017, Juli 31). E-Autos in der Schweiz: Tesla dominiert den Markt. *Blick*. Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.blick.ch/auto/unter-strom/e-autos-in-der-schweiz-tesla-dominiert-den-markt-id7057980.html>
- GeoDesign Internacional. (2016). Piranometro\_Class\_Tabela02.jpg (758×640). Zugriff am 26.3.2019. Verfügbar unter: [http://recursosolar.geodesign.com.br/Graphics/Big/Piranometro\\_Class\\_Tabela02.jpg](http://recursosolar.geodesign.com.br/Graphics/Big/Piranometro_Class_Tabela02.jpg)
- Giezendanner, R. & Maurer Weisbrod, Y. (2017). *Bauzonenstatistik Schweiz 2017 - Statistik und Analysen*. (S. 37). Bern. Zugriff am 24.6.2019. Verfügbar unter: [https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/grundlagen/dokumente/bauzonenstatistik-schweiz-2017-statistik-und-analysen.pdf.download.pdf/Bauzonenstatistik\\_Schweiz\\_2017.pdf](https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/grundlagen/dokumente/bauzonenstatistik-schweiz-2017-statistik-und-analysen.pdf.download.pdf/Bauzonenstatistik_Schweiz_2017.pdf)
- de Haan, P., Bianchetti, R., Rosser, S., Märki, A. & Erny, I. (2018). EBP Schweiz AG  
Zollikerstrasse 65 8702 Zollikon Schweiz Telefon +41 44 395 11 11 [info@ebp.ch](mailto:info@ebp.ch)  
[www.ebp.ch](http://www.ebp.ch), 37.
- Häne, S. (2015, März 24). Parkplatz-Land Schweiz. *Tages-Anzeiger*.
- hausinfo.ch. (2019, Februar 8). Brauche ich eine Baubewilligung? - GVB Hausinfo. Zugriff am 24.6.2019. Verfügbar unter: <http://www.hausinfo.ch/de/home/recht/bau/baugesuch-und-baubewilligung/baubewilligungspflicht.html>
- HEV Schweiz. (2019). Laden des Elektrofahrzeugs im Mietverhältnis. Zugriff am 18.7.2019.  
Verfügbar unter: <https://www.hev-schweiz.ch/news/detail/News/laden-des-elektrofahrzeugs-im-mietverhaeltnis/>
- Huber, M. (2018, Mai 12). Gebäude vergrössert, Energieverbrauch gesenkt. *NZZ am Sonntag*.  
Zugriff am 11.3.2019. Verfügbar unter: <https://nzzas.nzz.ch/wirtschaft/gebaeude-vergroessert-energieverbrauch-gesenkt-ld.1385230>
- isee systems. (2019). *Stella Architect V 1.8.3*. isee systems.

- JakartaNotebook. (2019). *Molicel Prismatic Li-Ion Battery*. Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter:  
<https://www.jakartanotebook.com/molicel-prismatic-li-ion-battery-1800mah-icp1003450b-14-days-blue/>
- KBOB. (2016, Februar 2). Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016. Zugriff am 25.3.2019.  
Verfügbar unter: [https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten\\_baubereich.html](https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html)
- Kipp & Zonen. (2017, Februar 1). Instruction Manual - SMP series Smart Pyranometer. Zugriff am 14.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.kippzonen.com/Download/583/Manual-SMP-series-Smart-Pyranometers>
- Kleber, N. & Schneider, L. (2017, Juli 6). 10 Fakten über Elektroautos - ingenieur.de. *ingenieur.de - Jobbörse und Nachrichtenportal für Ingenieure*. Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter:  
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/10-fakten-ueber-elektroautos/>
- Köllner, C. (2018, Januar 24). Diese Zellformate setzen sich für Lithium-Ionen-Akkus durch.  
*springerprofessional.de*. Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter:  
<https://www.springerprofessional.de/batterie/elektrofahrzeuge/diese-zellformate-setzen-sich-fuer-lithium-ionen-akkus-durch/15365986>
- Lambert, F. (2018, Juni 25). A closer look at BMW's next-gen electric powertrain technology coming in the iX3. *Electrek*. Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter:  
<https://electrek.co/2018/06/25/bmw-next-gen-electric-powertrain-technology-ix3/>
- Leoni. (2016, Juni). Datenblatt: BETAflam Solar 125 flex 1500 V DC. Zugriff am 16.7.2019.  
Verfügbar unter: [https://www.solarmarkt.ch/artimg/80-Kabel/Leoni\\_Studer/DB\\_DE\\_Leoni\\_BetaFlam.pdf](https://www.solarmarkt.ch/artimg/80-Kabel/Leoni_Studer/DB_DE_Leoni_BetaFlam.pdf)
- MeteoSchweiz. (2019, Juni 11). MeteoSchweiz IDAWEB. Zugriff am 1.7.2019. Verfügbar unter:  
<https://gate.meteoswiss.ch/idaweb/login.do>
- Meteotest AG. (2018). *Meteonorm V 7.3.2.20780*. Bern.

- Microsoft Office. (2015). *Excel 2016*. Microsoft.
- National Instruments. (2016). NI myRIO-1900 User Guide and Specifications. Zugriff am 19.6.2019. Verfügbar unter: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>
- National Instruments. (2018). *LabVIEW 2018 V 18.0.1 32-bit myRIO Toolkit*.
- Neumann, H.-M., Schär, D. & Baumgartner, F. (2012). The potential of photovoltaic carports to cover the energy demand of road passenger transport. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 20(6), 639–649. <https://doi.org/10.1002/pip.1199>
- Polo, J., Martín-Pomares, L. & Sanfilippo, A. (2019). *Solar Resources Mapping: Fundamentals and Applications* (Green Energy and Technology). Cham: Springer International Publishing. Zugriff am 22.3.2019. Verfügbar unter: [http://sfx.ethz.ch/sfx\\_locator?sid=ALEPH:EBI01&genre=book&isbn=9783319974842](http://sfx.ethz.ch/sfx_locator?sid=ALEPH:EBI01&genre=book&isbn=9783319974842)
- QRCode-Generator.de. (2019). QR Code Generator - Erstellen Sie hier QR Codes. Zugriff am 17.7.2019. Verfügbar unter: <https://www.qrcode-generator.de/>
- Quartieranalyse, GIS-ZH. (2018, Oktober 15). GIS-Browser. Zugriff am 10.4.2019. Verfügbar unter: <https://maps.zh.ch/>
- Quaschning, V. (2015). *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation ; mit 119 Tabellen und einer DVD* (9., aktualisierte und erw. Aufl.). München: Hanser.
- Quaschning, V., Geuder, N. & Ortmanns, W. (2002). *Vergleich verschiedener Verfahren zur Solarstrahlungsbestimmung*. (S. 7). Berlin: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Zugriff am 22.3.2019. Verfügbar unter: [http://www.volker-quaschning.de/downloads/Sofo2002\\_1.pdf](http://www.volker-quaschning.de/downloads/Sofo2002_1.pdf)
- RStudio Inc. (2018). *RStudio V 1.1.463*.
- Saxena, S., Le Floch, C., MacDonald, J. & Moura, S. (2015). Quantifying EV battery end-of-life through analysis of travel needs with vehicle powertrain models. *Journal of Power Sources*, 282, 265–276. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.01.072>

Saxton, T. (2013). *Plug In America's Tesla Roadster Battery Study*. (S. 14). Plug In America.

Zugriff am 17.6.2019. Verfügbar unter: <https://survey.pluginamerica.org/tesla-roadster/PIA-Roadster-Battery-Study.pdf>

Schmidt, H. (2018, April 17). Tesla-Akkus halten länger als erwartet | NZZ. *Neue Zürcher Zeitung*.

Schweizerische Depeschenagentur. (2014, Januar 30). Schweiz ist Schlusslicht | NZZ.

SIA Zürich. (2014, Juli 1). SIA 261:2014 Einwirkungen auf Tragwerke.

SMA Solar Technology AG. (o. J.-a). Datenblatt: Sunny Boy 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0 / 6.0 mit SMA

Smart Connected. Zugriff am 9.7.2019. Verfügbar unter:

<https://files.sma.de/dl/32724/SB30-60-DS-de-34.pdf>

SMA Solar Technology AG. (o. J.-b). Datenblatt: Sunny Island 4.4M / 6.0H / 8.0H für off-grid und on-grid Anwendungen. Zugriff am 9.7.2019. Verfügbar unter:

[https://files.sma.de/dl/30486/SI44M\\_60H\\_80H-DDE1730-V12web.pdf](https://files.sma.de/dl/30486/SI44M_60H_80H-DDE1730-V12web.pdf)

Solaik GmbH. (2018). PHOTOVOLTAIK. Zugriff am 21.6.2019. Verfügbar unter:

<http://solaik.ch/photovoltaik/grundlagen/index.php>

Solarmarkt GmbH. (2019). Solarmarkt GmbH - Artikeldetail: JA Solar - 102.265.484. Zugriff am

9.7.2019. Verfügbar unter: <https://www.solarmarkt.ch/shop/java/JA-Solar-Mono-JAM60S10-330-PR---HC-Halfcut---1m-Kabel---MC4/artdet/39511129>

Solmetric SunEye. (2016). *Solmetric SunEye V 4.90.8430*.

Sony Corporation. (2009, August 11). Sony Launches High-power, Long-life Lithium Ion Secondary Battery Using Olivine-type Lithium Iron Phosphate as the Cathode Material. *Sony Global -*

*Sony Global Headquarters*. Zugriff am 9.7.2019. Verfügbar unter:

<http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/200908/09-083E/index.html>

Sony Europe Ltd. (o. J.-a). Datenblatt: IJ1001M: 1.2 kWh Stromspeichereinheit. Zugriff am

16.7.2019. Verfügbar unter: [https://www.mg-solar-](https://www.mg-solar-shop.de/media/pdf/0a/aa/4f/111290_DS_IJ1001M_140528.pdf)

[shop.de/media/pdf/0a/aa/4f/111290\\_DS\\_IJ1001M\\_140528.pdf](https://www.mg-solar-shop.de/media/pdf/0a/aa/4f/111290_DS_IJ1001M_140528.pdf)



Sony Europe Ltd. (o. J.-b). Datenblatt: IJ1004C + IJ1003K: Controller und Kommunikations-HUB

für grosse und autarke Stromspeichersysteme. Zugriff am 16.7.2019. Verfügbar unter:

[https://www.mg-solar-](https://www.mg-solar-shop.com/media/pdf/0c/90/8f/111290_DS_IJ1004C%20_%20IJ1003K_140528.pdf)

[shop.com/media/pdf/0c/90/8f/111290\\_DS\\_IJ1004C%20\\_%20IJ1003K\\_140528.pdf](https://www.mg-solar-shop.com/media/pdf/0c/90/8f/111290_DS_IJ1004C%20_%20IJ1003K_140528.pdf)

swisstopo. (2019). Swiss Geoportal. *geo.admin.ch*. Zugriff am 14.6.2019. Verfügbar unter:

<https://map.geo.admin.ch>

The Camping Trips. (2017). *18650 Battery vs. AA: Are there any difference?* Zugriff am 17.6.2019.

Verfügbar unter: <https://thecampingtrips.com/wp-content/uploads/2017/08/Batteries-18650-isolated-on-white-background.jpg>

The Mobility House. (o. J.). KEBA Wallbox 105.641 KeContact P30 x-series. *The Mobility House*.

Zugriff am 10.7.2019. Verfügbar unter: [https://www.mobilityhouse.com/ch\\_de/keba-wallbox-105-641-kecontact-p30-x-series.html](https://www.mobilityhouse.com/ch_de/keba-wallbox-105-641-kecontact-p30-x-series.html)

The R Foundation for Statistical Computing. (2018). *R V 3.5.1 (2018-07-02)*.

Thielmann, A., Sauer, A. & Wietschel, M. (2015). *Gesamt-Roasmap Lithium-Ionen-Batterien 2030*.

(S. 60). Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Zugriff am 17.6.2019.

Verfügbar unter: <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/lib/GRM-LIB.pdf>

Trimble Inc. (2017). *SketchUp Pro 2018*. Trimble Inc.

TRU Components. (o. J.). Datenblatt: Metallschicht-Widerstand MF0 Series. Zugriff am 26.7.2019.

Verfügbar unter: [https://produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1500000-](https://produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1500000-1599999/001557161-da-01-en-TC_METALLS__WID__0_6W_R22_5000ST.pdf)

[1599999/001557161-da-01-en-TC\\_METALLS\\_\\_WID\\_\\_0\\_6W\\_R22\\_5000ST.pdf](https://produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1500000-1599999/001557161-da-01-en-TC_METALLS__WID__0_6W_R22_5000ST.pdf)

Vela Solaris AG. (o. J.). *Polysun 11.1.12.28793*. Deutsch, Winterthur: Vela Solaris AG.

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen. (2018, Januar). Photovoltaik und

solarthermische Stromerzeugung. Zugriff am 9.7.2019. Verfügbar unter:

[https://www.strom.ch/sites/default/files/media/documents/13\\_\\_PV\\_und\\_solarthermische\\_KW.pdf](https://www.strom.ch/sites/default/files/media/documents/13__PV_und_solarthermische_KW.pdf)

Verkehrsabgabengesetz. (1991, Januar 1). *Verkehrsabgabengesetz (VAG)*. Zugriff am 17.6.2019.

Verfügbar unter:

[https://stva.zh.ch/internet/sicherheitsdirektion/stva/de/StVAgeb/GEBva14/\\_jcr\\_content/contentPar/morethemes/morethemesitems/verkehrsabgabengeset.spooler.download.1403698053144.pdf/VAG\\_NEU2014LS.pdf](https://stva.zh.ch/internet/sicherheitsdirektion/stva/de/StVAgeb/GEBva14/_jcr_content/contentPar/morethemes/morethemesitems/verkehrsabgabengeset.spooler.download.1403698053144.pdf/VAG_NEU2014LS.pdf)

VTS. (1995, Juni 19). *Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS)*. SR 741.41. Zugriff am 8.7.2019. Verfügbar unter:

<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19950165/201601010000/741.41.pdf>

Webasto Thermo & Comfort SE. (2018, Oktober). Datenblatt: Webast Pure 22 kW. Zugriff am 9.7.2019. Verfügbar unter:

[https://www.mobilityhouse.com/media/productattachments/files/20180830\\_Datasheet\\_Webasto\\_PURE\\_DEU\\_22kW\\_1.pdf](https://www.mobilityhouse.com/media/productattachments/files/20180830_Datasheet_Webasto_PURE_DEU_22kW_1.pdf)

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Die Bewohnertypen der bewohnten Wohnungen in der Schweiz aus dem Jahr 2017. Quelle: Bundesamt für Statistik (2017a). .....	4
Abbildung 2: Vergleich der Auswirkung der Fortbewegung mit verschiedenen Antriebssystemen pro Personenkilometer (pkm). Die Gesamtumweltbelastung in Umweltbelastungspunkten (UBP) ist nach der Methode der ökologischen Knappheit berechnet. Quelle: KBOB (2016). .....	5
Abbildung 3: Marktgrösse vs. Wachstum für LIB-Zellen. Quelle: Thielmann, Sauer & Wietschel (2015, S. 19). .....	13
Abbildung 4: Vergleich der drei LIB-Zellformen. Quellen: The Camping Trips (2017), Electric Car Party Company (2019), JakartaNotebook (2019). .....	13
Abbildung 5: Parkplatz W4150M3, welcher eine hohe Verschattung aufweist. Die gelbe Fläche stellt den freien Horizont innerhalb des Sonnenpfades dar, während die grüne Fläche den verschatteten Horizont innerhalb des Sonnenpfads markiert. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	18
Abbildung 6: Parkplatz W125E2, welcher einen nahezu freien Horizont und damit eine geringe Verschattung der Sonnenpfadfläche aufweist. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	18
Abbildung 7: Messaufbau auf dem Anhänger mit Pyranometer und Solarzelle auf dem Dach und Solarzellen an den vier Seiten. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	20
Abbildung 8: Pyranometer und Solarzelle auf dem Dach des Anhängers. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	21
Abbildung 9: Schema des Messaufbaus. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	23
Abbildung 10: Innenansicht der Apparaturbox. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	23
Abbildung 11: Boxplot der Horizontmessungen nach Parkplatzkategorie mit der roten Regressionslinie. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	25
Abbildung 12: Vergleich von nutzbarer Solarstrahlung und potentieller Solarstrahlung, wenn die schattenwerfenden Pflanzen entfernt werden. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	26
Abbildung 13: Verteilung der nutzbaren Solarstrahlung der gemessenen Parkplätze. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	27
Abbildung 14: Korrelation zwischen dem Pyranometer und der Solarzelle auf dem Dach am Beispiel eines durchzogenen Tages mit 304 Min. Sonnenschein und 1 mm Niederschlag (27.05.2019, BAFU / EUA, MeteoSchweiz, 2019). Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	28

Abbildung 15: Gemessene Einstrahlungsenergie im Vergleich mit der potentiellen Einstrahlungsenergie. Quellen: MeteoSchweiz (2019), Eigene Grafik (2019).....	29
Abbildung 16: Verteilung der Sonneneinstrahlung auf die verschiedenen Flächen. Links der Durchschnitt über alle Parkplätze, rechts Messung 1 bis 3 von innen nach aussen. Quelle: Eigene Grafik (2019).....	30
Abbildung 17: Anzahl zugelassene Fahrzeuge der Modelle i3, ZOE, Model S, Model X und Model 3 in der Schweiz. Quelle: Eigene Grafik (2019). ....	31
Abbildung 18: Anfallende zylindrische LIB mit einer Restkapazität zwischen 75 % und 88 %. Quelle: Eigene Grafik (2019).....	33
Abbildung 19: Visualisierung der mobilen, autarken Ladestation. Quelle: Eigene Grafik (2019)....	35
Abbildung 20: Stringplan des mobilen Konzepts. Quelle: Eigene Grafik (2019).....	37
Abbildung 21: Tagesproduktion des mobilen Konzepts übers Jahr nach Ertrag sortiert. Quelle: Eigene Grafik (2019).....	38
Abbildung 22: Visualisierung der stationären, autarken Ladestation. Quelle: Eigene Grafik (2019). .....	40
Abbildung 23: Stringplan des stationären Konzepts. Quelle: Eigene Grafik (2019).....	41
Abbildung 24: Tagesproduktion des stationären Konzepts übers Jahr nach Ertrag sortiert. Quelle: Eigene Grafik (2019).....	42
Abbildung 25: Abhängigkeit der Einstrahlung auf die PV-Module zum Anstellwinkel. Quelle: Eigene Grafik (2019). ....	44
Abbildung 26: Eigenverschattung der PV-Module bei einem Anstellwinkel von 10° und 30° mit einem Reihenabstand von 0.5 m und 1.5 m (Vela Solaris AG, o. J.). ....	44
Abbildung 27: Stationäres Konzept mit um 15° geneigtem Dach. Quelle: Eigene Grafik (2019)....	45
Abbildung 28: Visualisierung des Standortes der Horizontaufnahme in einem Meter Höhe (roter Kasten) im Vergleich mit einer zwei Meter hohen Hecke (grüner Hintergrund) und den Ladestationen. Quelle: Eigene Grafik (2019). ....	47
Abbildung 29: Vergleich zwischen der Horizontaufnahme und der Messung beim Parkplatz P1. Quelle: Eigene Grafik (2019). ....	48
Abbildung 30: Visualisierung der beiden Konzepte. Quelle: Eigene Grafik (2019), Fahrzeug von Brandon (2018).....	50

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einteilung der Wohngebiete in der Quartieranalyse des Kantons Zürich nach der Nutzungsdichte in Personen pro Hektare. Quelle: Quartieranalyse, GIS-ZH (2018).....	8
Tabelle 2: Anforderungen an Pyranometer nach ISO und WMO Quellen: GeoDesign Internacional (2016), Quaschnig et al. (2002). ....	9
Tabelle 3: Stromverbrauch der näher betrachteten Elektrofahrzeuge. Quellen: ADAC (2018), ADAC (2019).....	15
Tabelle 4: Parkplatzkategorien nach Haustyp, Wohnzone und Nutzungsdichte.....	16
Tabelle 5: Messwiderstände und daraus resultierende Messauflösung der verschiedenen Sensoren. ....	22
Tabelle 6: Ungenauigkeiten der verwendeten Komponenten. Quellen: Kipp & Zonen (2017), National Instruments (2016), TRU Components (o. J.).....	24
Tabelle 7: Vergleich der Sonnenstrahlungsmessung des sonnigsten Tages mit der Horizontmessung.....	29
Tabelle 8: Die Akkukapazitäten der jeweiligen Fahrzeuge. In Klammern sind die verfügbaren Akkugrößen ersichtlich. Die 81.5 %-Kapazität beschreibt die verfügbare second-life Kapazität...	32
Tabelle 9: Technische Komponenten der Konzepte. ....	33
Tabelle 10: Leistungen und zu erwartende Erträge auf einem durchschnittlichen Parkplatz. ....	36
Tabelle 11: Verluste des mobilen Konzepts.....	37
Tabelle 12: Batteriekapazität des mobilen Konzepts nach Verbrauch und nach der nutzbaren Solarstrahlung am Standort des Parkplatzes.....	39
Tabelle 13: Leistungen und zu erwartende Erträge auf einem durchschnittlichen Parkplatz. ....	40
Tabelle 14: Verluste des stationären Konzepts. ....	42
Tabelle 15: Batteriekapazität des stationären Konzepts nach Verbrauch und nach der nutzbaren Solarstrahlung am Standort des Parkplatzes.....	43

## FORMELVERZEICHNIS

Formel 1: Berechnung der Schneelast auf einem horizontalen Gelände nach SIA Zürich (2014).. 11

Formel 2: Berechnung der Windkräfte nach SIA Zürich (2014) ..... 11

## ANHANG

Anhang A: Schaltbild des Datenloggers

Anhang B: Statistische Auswertung der Messergebnisse

Anhang C: Detaillierte Ergebnisse der Horizontmessungen

Anhang D: Detaillierte Ergebnisse der Einstrahlungsmessungen

Anhang E: Aufbau der Stella Architect Simulation

Poster

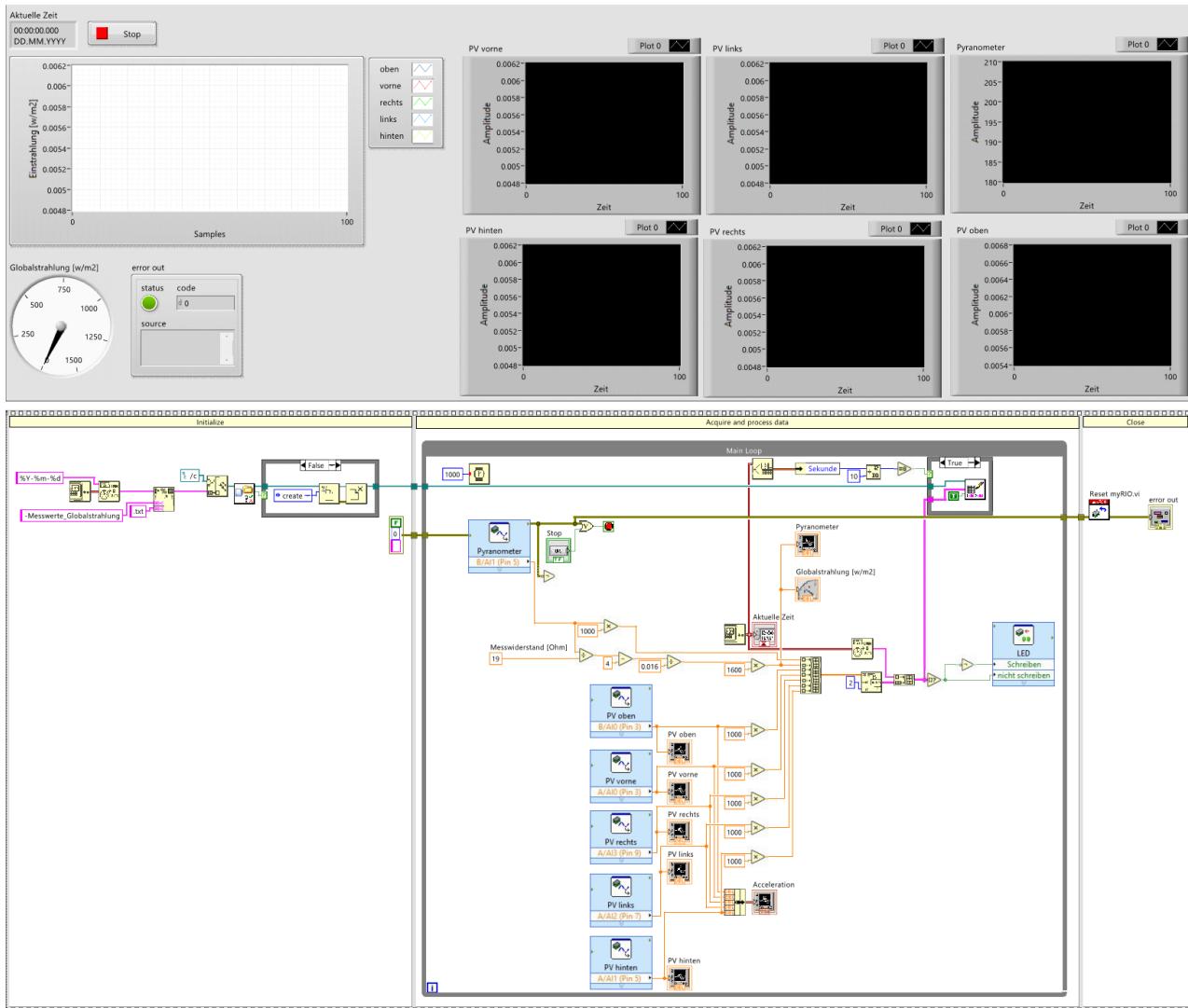
Plagiatserklärung

## ANHANG A

## Main.vi



The myRIO Project template acquires acceleration data from the onboard accelerometer and displays the changes of acceleration values in a waveform chart.





## ANHANG B

```
#multivariater vergleich
```

```
#ANOVA
```

```
#H0 kein Unterschied zwischen den Parkplatzkategorien
```

```
#H1 min. ein Unterschied zwischen zwei Parkplatzkategorien
```

```
#Post hoc check, falls H1 zutrifft
```

```
#pairwise.t test machen (mit Korrektur)
```

```
#Normalverteilung in den einzelnen Stichproben
```

```
shapiro.test(rstandard(aov(Jahreswerte$Messergebnis~Jahreswerte$Kategorie)))
```

```
#P = 0.3234
```

```
#Varianzhomogenität über alle Stichproben
```

```
bartlett.test(Jahreswerte$Messergebnis~Jahreswerte$Kategorie)
```

```
#P = 0.5607
```

```
#Varianzanalyse aov
```

```
summary(aov(Jahreswerte$Messergebnis~Jahreswerte$Kategorie))
```

```
#P = 0.282
```

```
#H0 kann nicht verworfen werden -> keine signifikanten Unterschiede!
```

```
#Boxplot
```

```
boxplot(Boxplot, col = c(rgb(0, 0.69, 0.313725)), ylim=c(0,100), ylab="nutzbare Solarstrahlung [%]")
```

```
trend = data.frame(x = 1:10, y = sapply(Boxplot, mean))
```

```
abline(lm(y~x, data = trend), col = "red", lwd=2)
```

Datei «Jahreswerte»

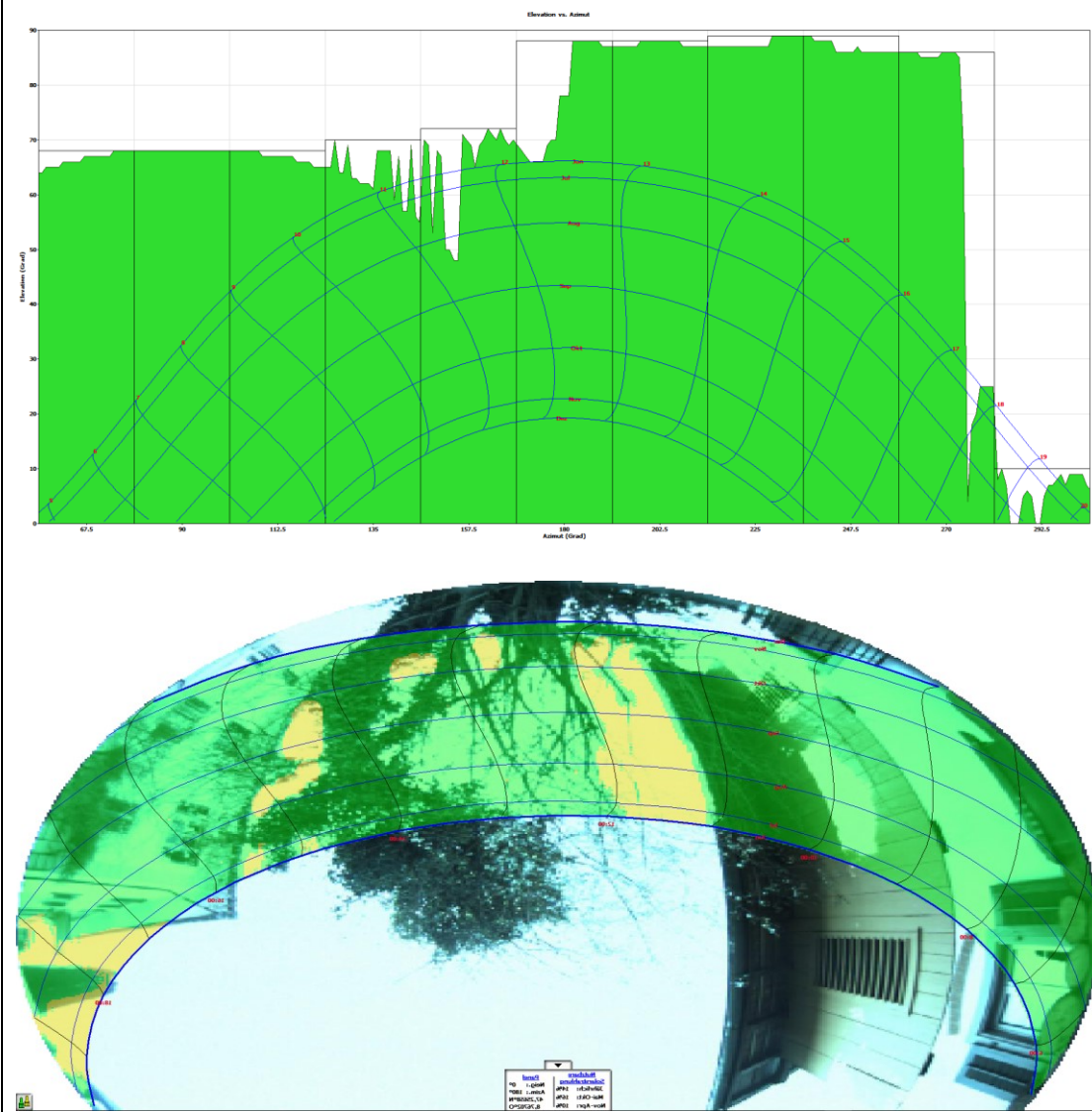
Kategorie	Messergebnis
W1025E	14
W1025E	85
W1025E	68
W2050E	66
W2050E	83
W2050E	82
W2100R	12
W2100R	30
W2100R	81
W3000E	66
W3000E	67
W3000E	45
W3000M	87
W3000M	83
W3000M	66
W3100R	88

W3100R	69
W3100R	65
W3100M	64
W3100M	65
W3100M	37
W4000M	48
W4000M	74
W4000M	83
W4100M	14
W4100M	42
W4100M	44
W4150M	82
W4150M	75
W4150M	24

---

ANHANG C

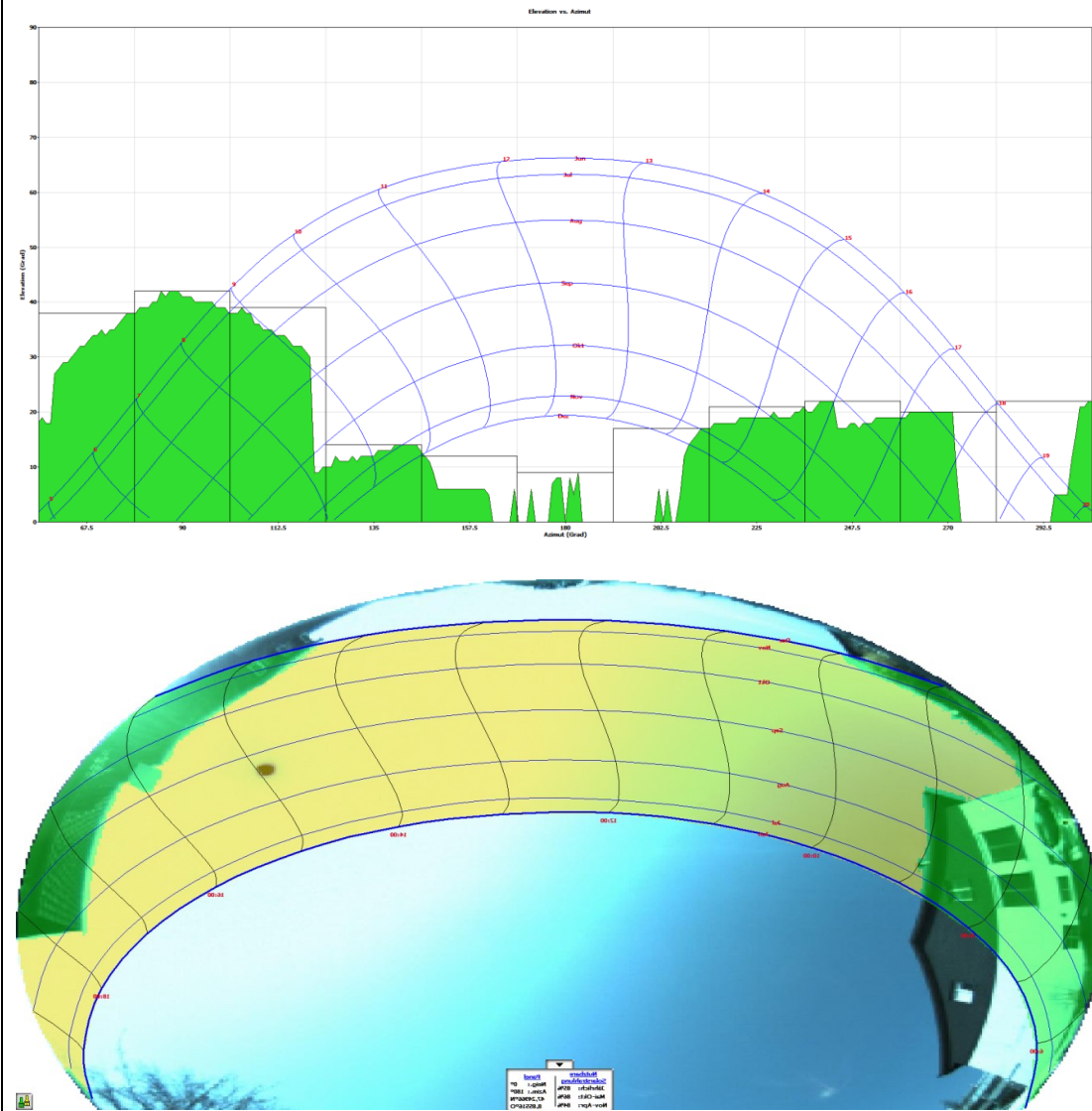
Badstrasse 16, 8634 Hombrechtikon



W1025E1

Bauzone	W1
Nutzungsichte [Pers./ha]	32
Gebäude	EFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	357
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	16
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	10
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	52
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	42

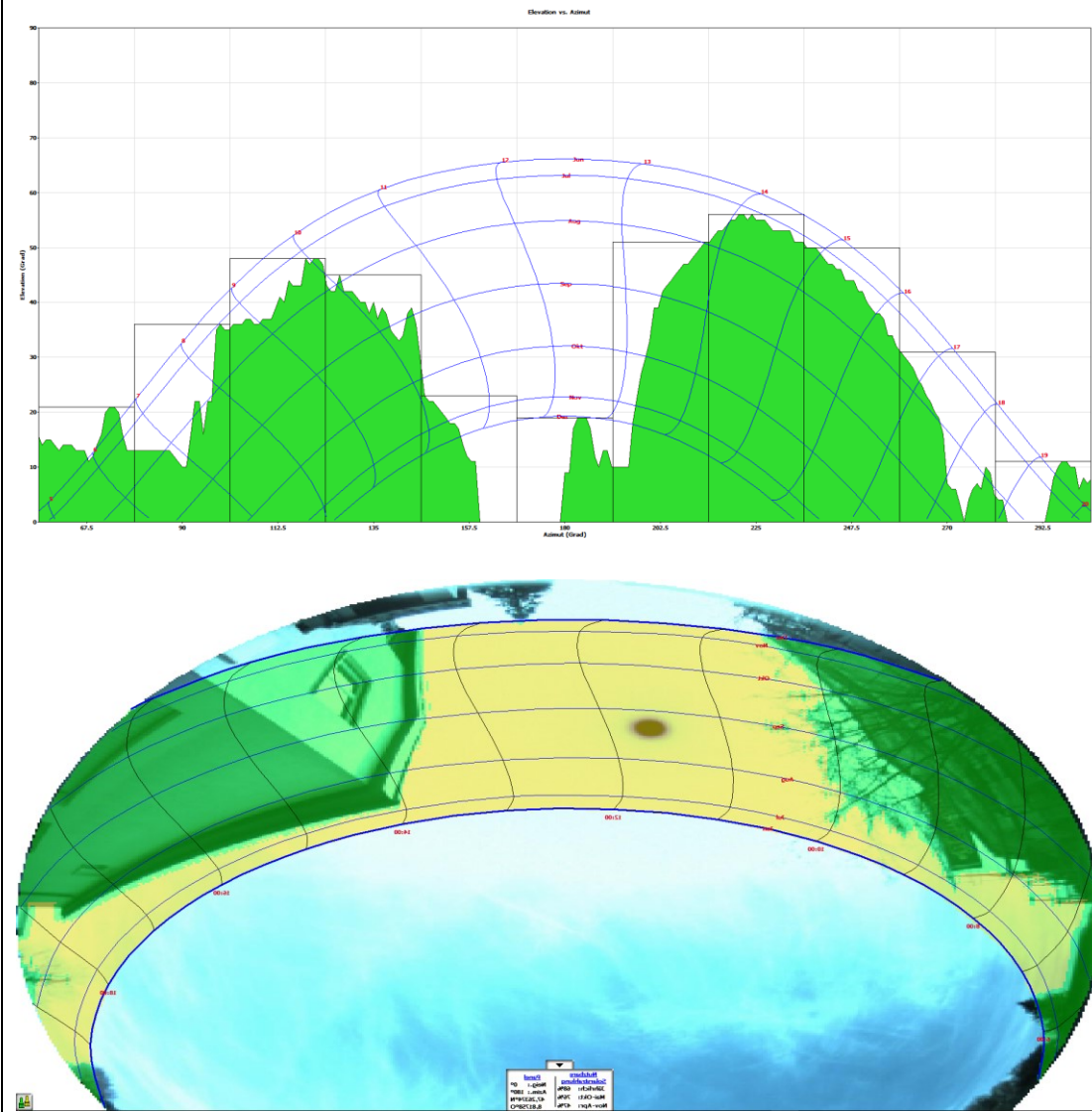
Berghofweg 2, 8630 Rüti



W1025E2

Bauzone	W1
Nutzungsichte [Pers./ha]	33
Gebäude	EFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	92
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	86
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	84
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	86
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	84

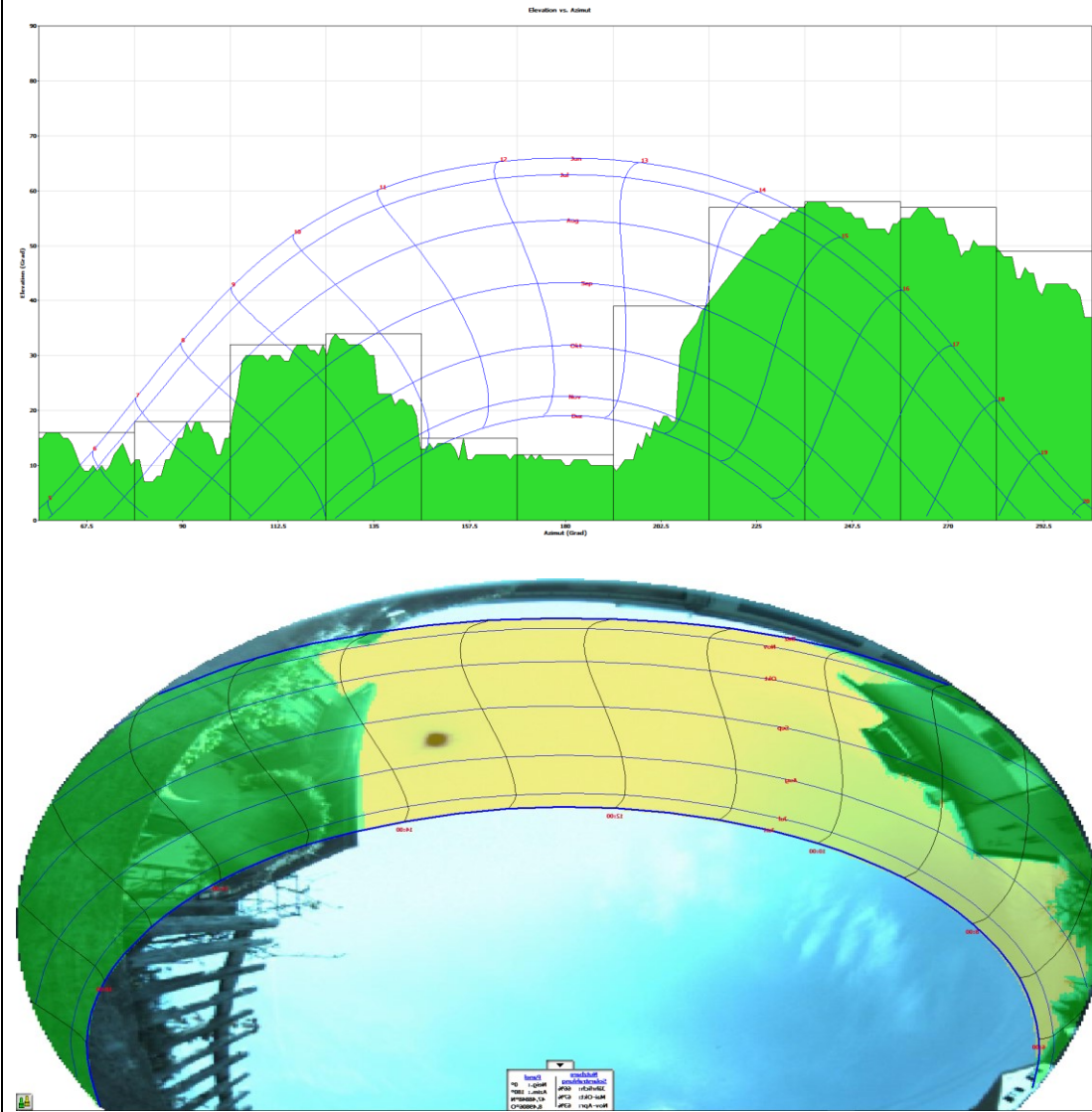
Wihaldenstrasse 28, 8608 Bubikon



W1025E3

Bauzone	W1H
Nutzungsichte [Pers./ha]	41
Gebäude	EFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	358
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	76
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	47
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	80
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	51

Kirchrainstrasse 9, 8172 Niederglatt

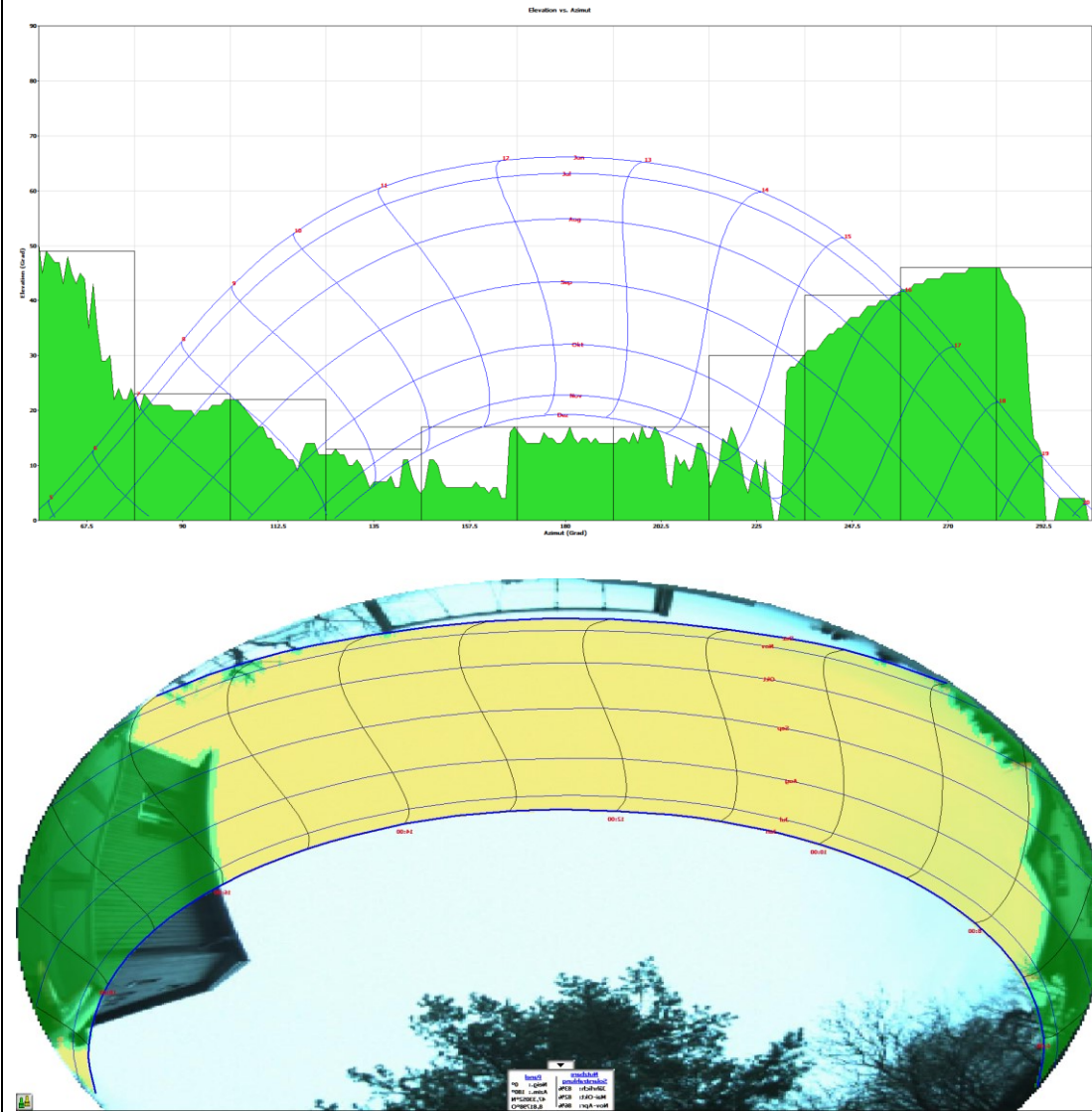


W2050E1

Bauzone	W2
Nutzungsichte [Pers./ha]	50-100
Gebäude	EFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	344
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	67
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	63
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	68
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	63



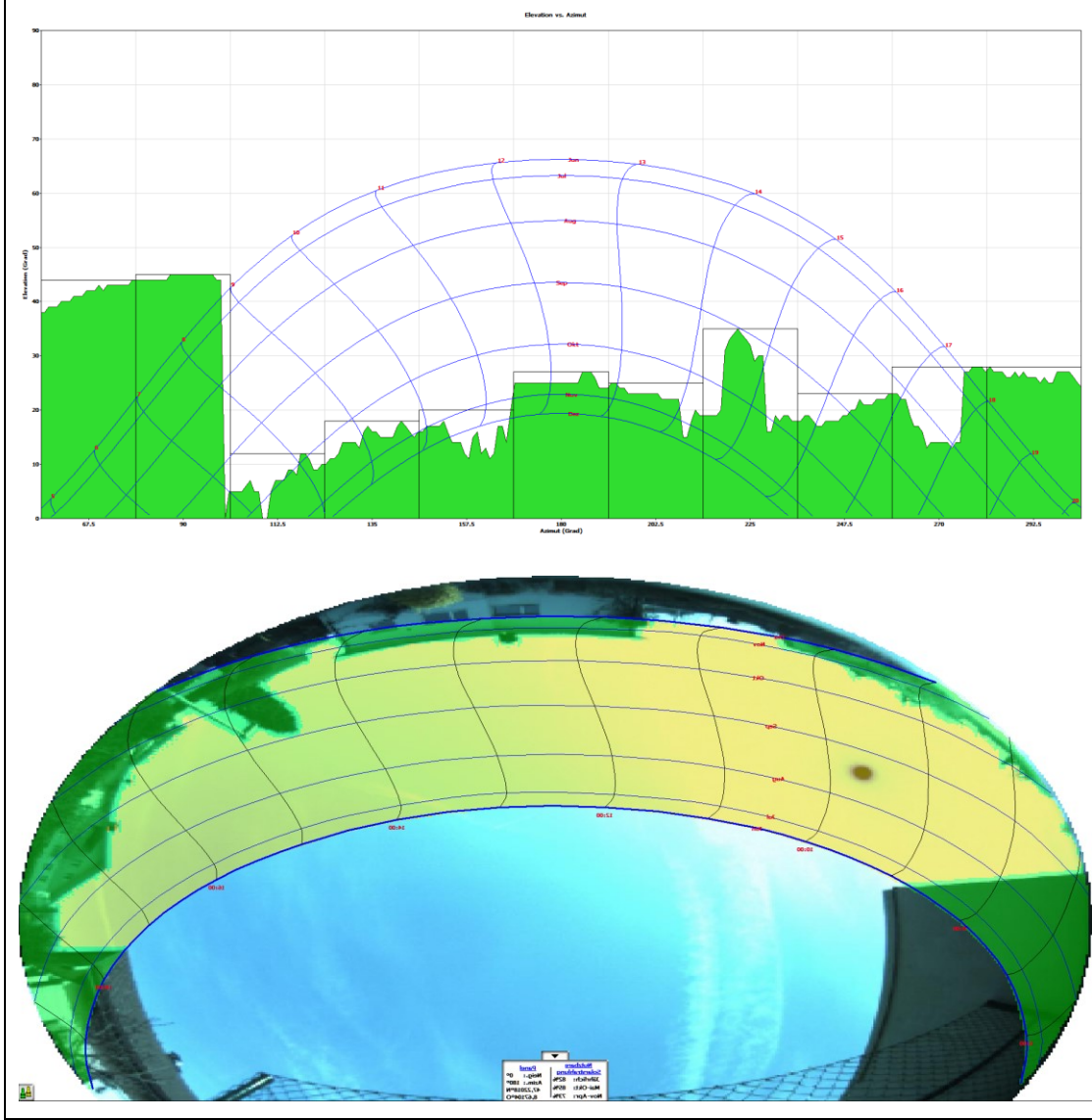
Neubühlstrasse 28, 8623 Wetzikon



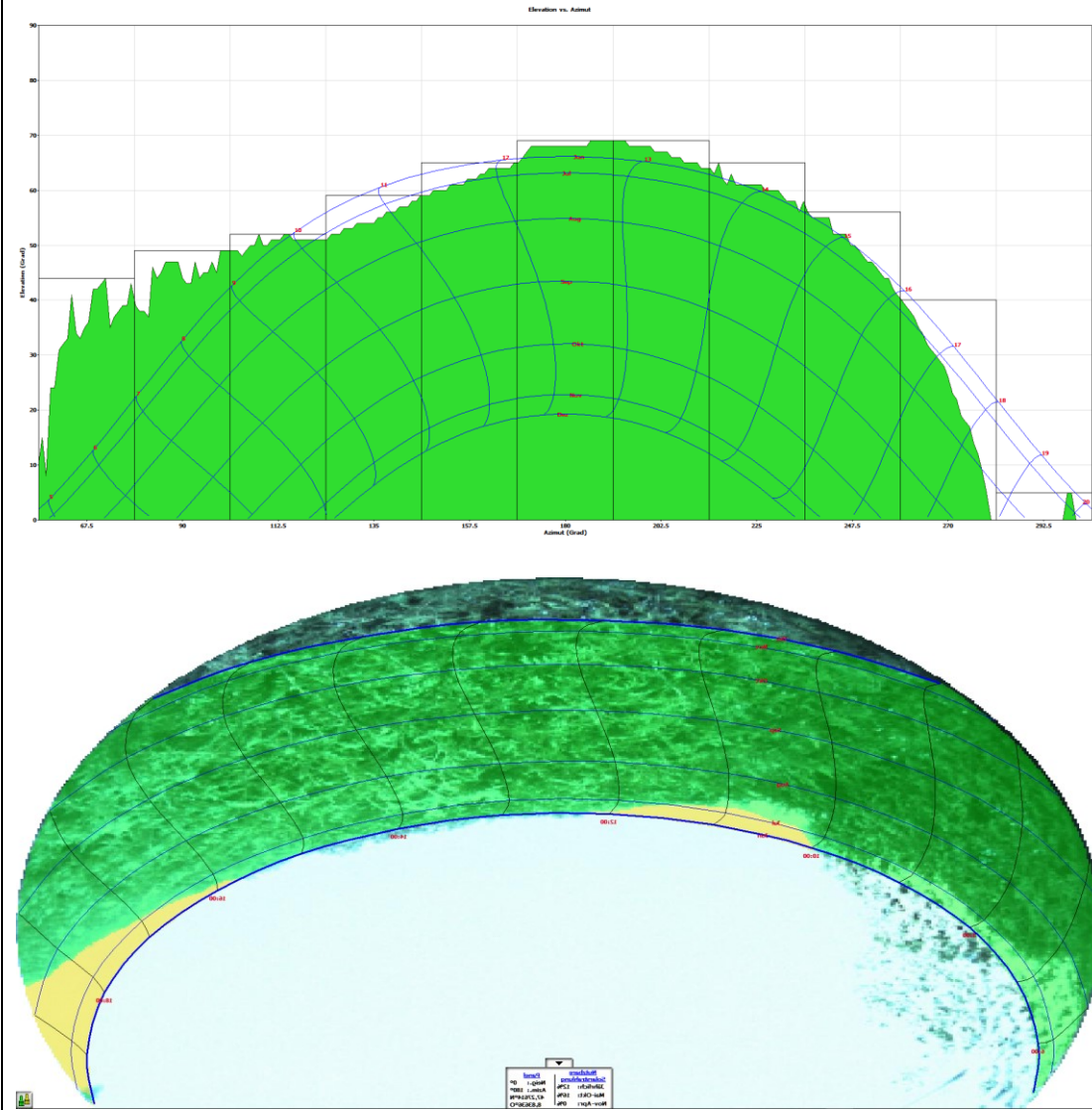
W2050E2

Bauzone	W2N
Nutzungsichte [Pers./ha]	55
Gebäude	EFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	14
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	82
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	86
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	83
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	89



Sandhofstrasse 10, 8820 Wädenswil		W2050E3
	Bauzone	W2
	Nutzungsichte [Pers./ha]	65
	Gebäude	EFH
	Ausrichtung der Einfahrt [°]	190
	Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	85
	Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	73
	Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	86
	Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	74

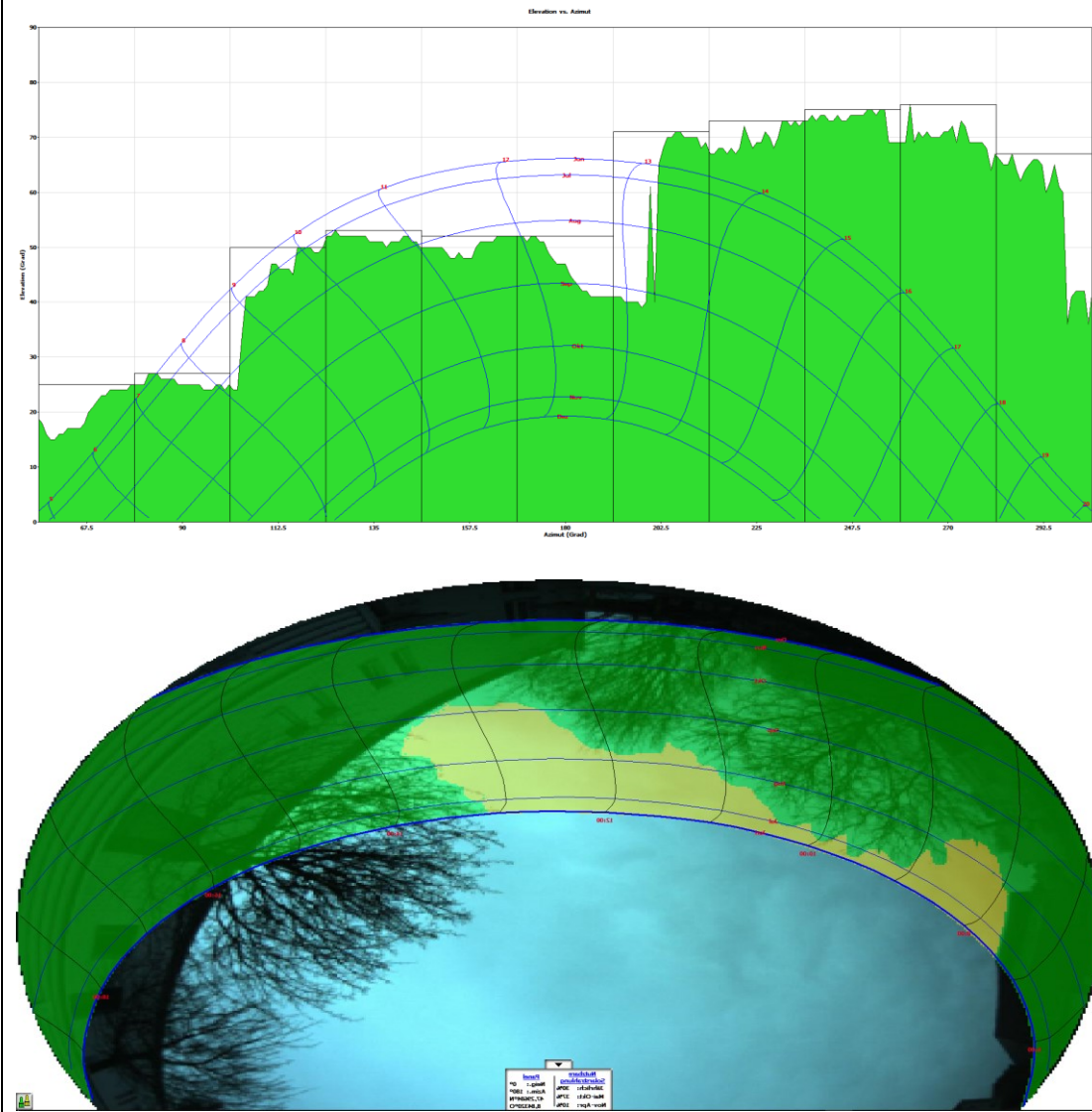
Wiesengrundweg 14, 8635 Dürnten



W2100R1

Bauzone	W2
Nutzungsichte [Pers./ha]	113
Gebäude	REFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	4
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	16
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	0
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	58
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	0

Im Lenz 103, 8340 Hinwil



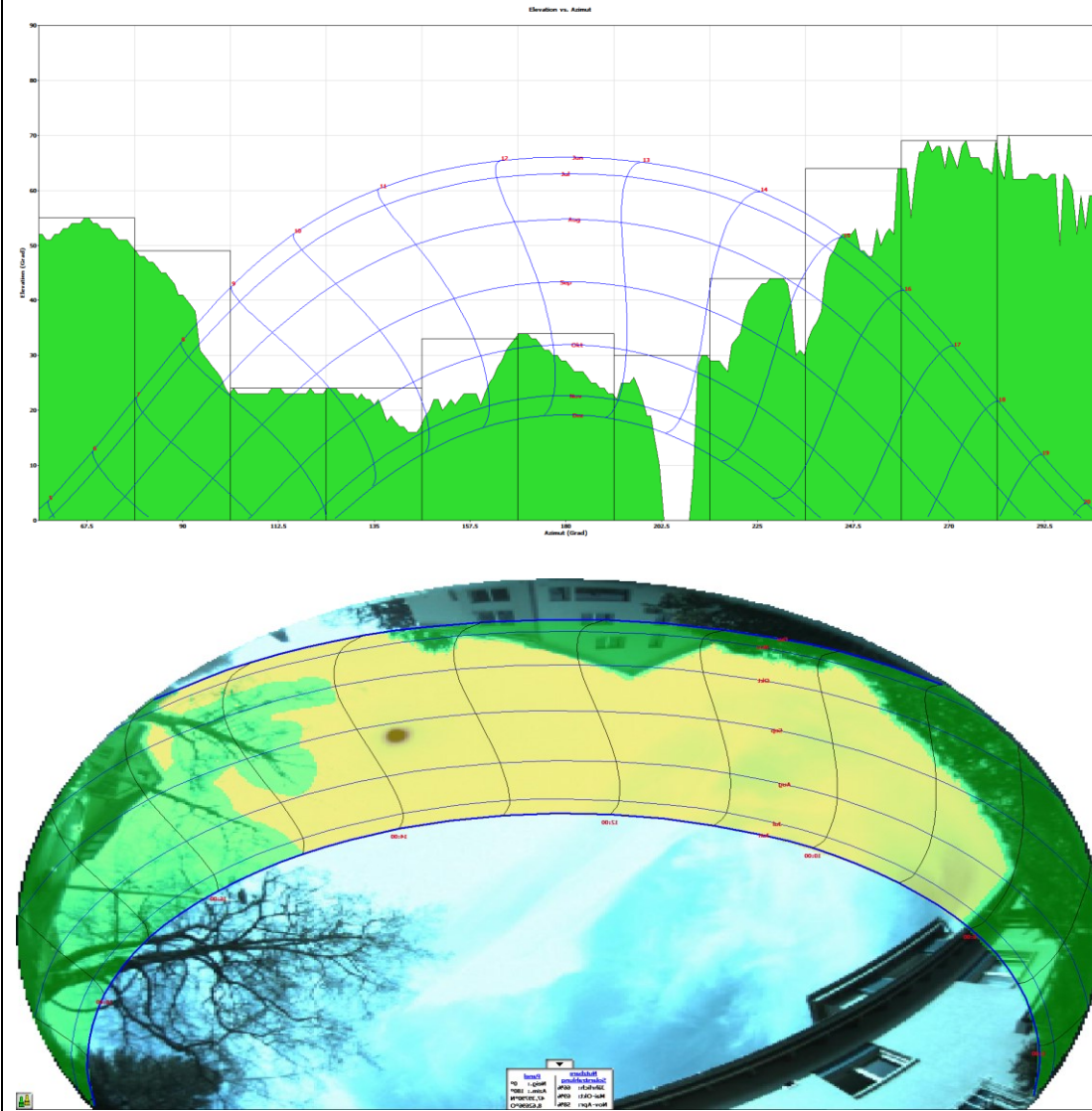
W2100R2

Bauzone	W2N
Nutzungsichte [Pers./ha]	>100
Gebäude	REFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	37
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	37
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	10
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	70
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	49

Primelstrasse 10, 8046 Zürich		W2100R3	
		Bauzone	W2H
		Nutzungsichte [Pers./ha]	144
		Gebäude	REFH
		Ausrichtung der Einfahrt [°]	229
		Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	88
		Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	61
		Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	88
		Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	61



Glärnischstrasse 29, 8600 Dübendorf

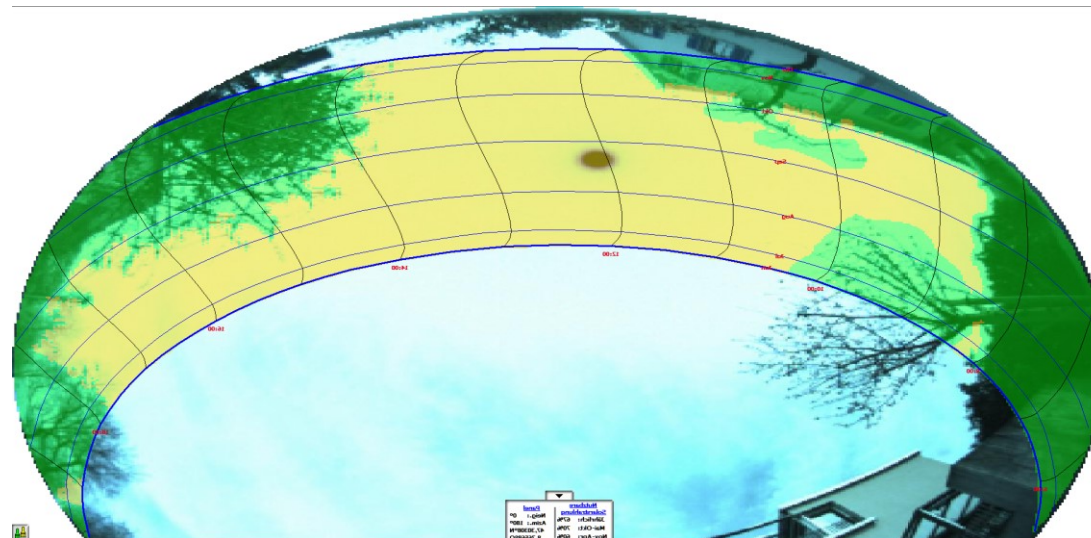
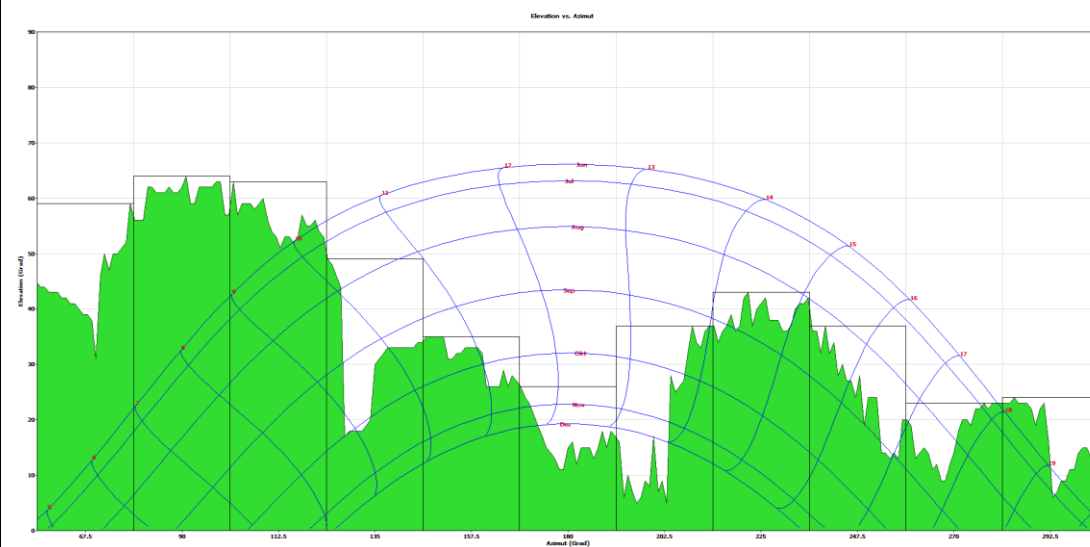


W3000E1

Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	<100*
Gebäude	EFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	238
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	69
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	58
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	91
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	81
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	

**Kirchstrasse 30, 8625 Gossau**

**W3000E2**



Bauzone W3N

Nutzungsichte [Pers./ha] <100\*

Gebäude EFH

Ausrichtung der Einfahrt [°] 288

Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%] 70

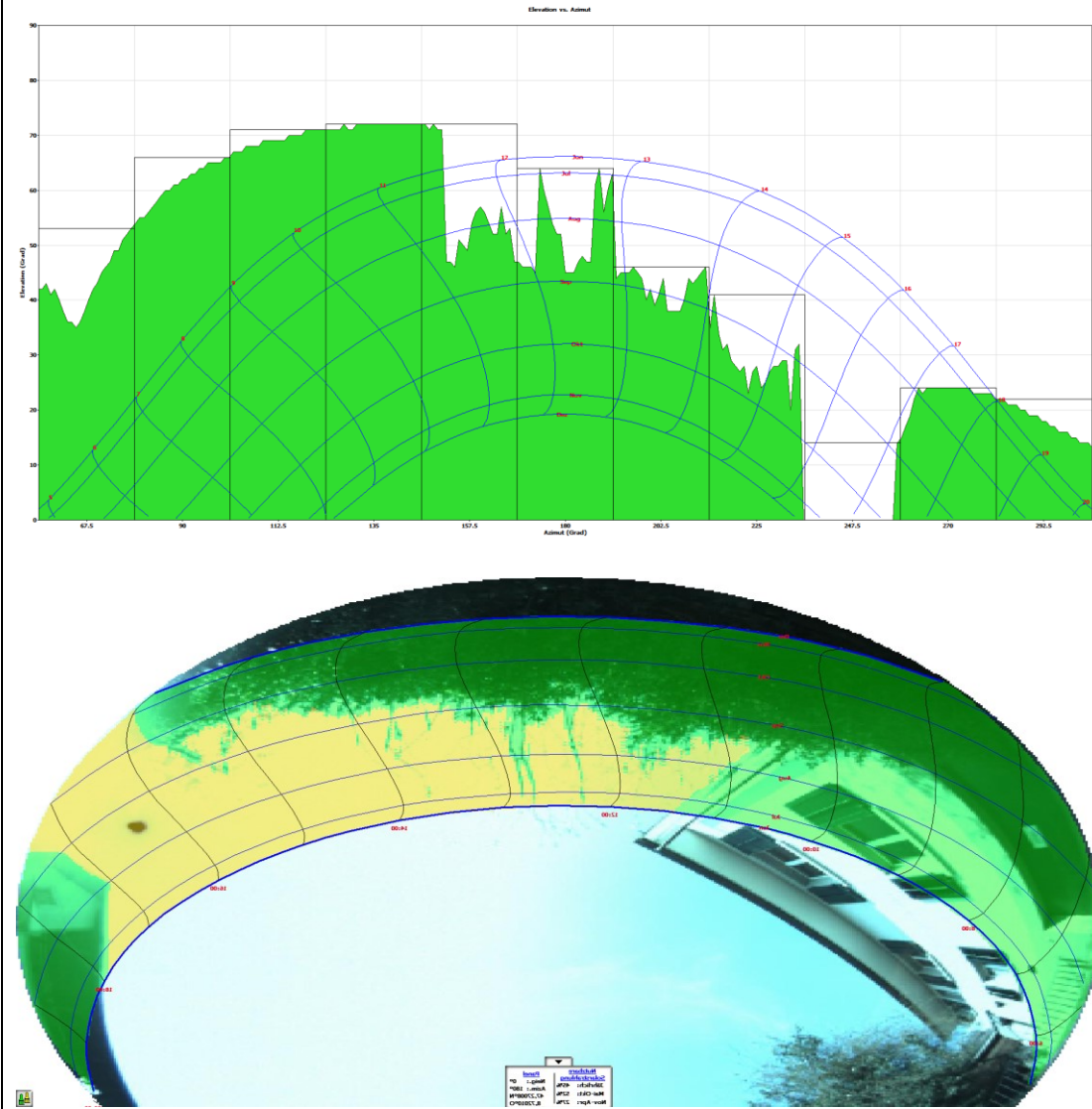
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April 60  
[%]

Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%] 95

Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%] 85

\*Genaue Nutzungsdichte aus  
Datenschutzgründen nicht ersichtlich

Schlösslistrasse 11, 8618 Oetwil am See

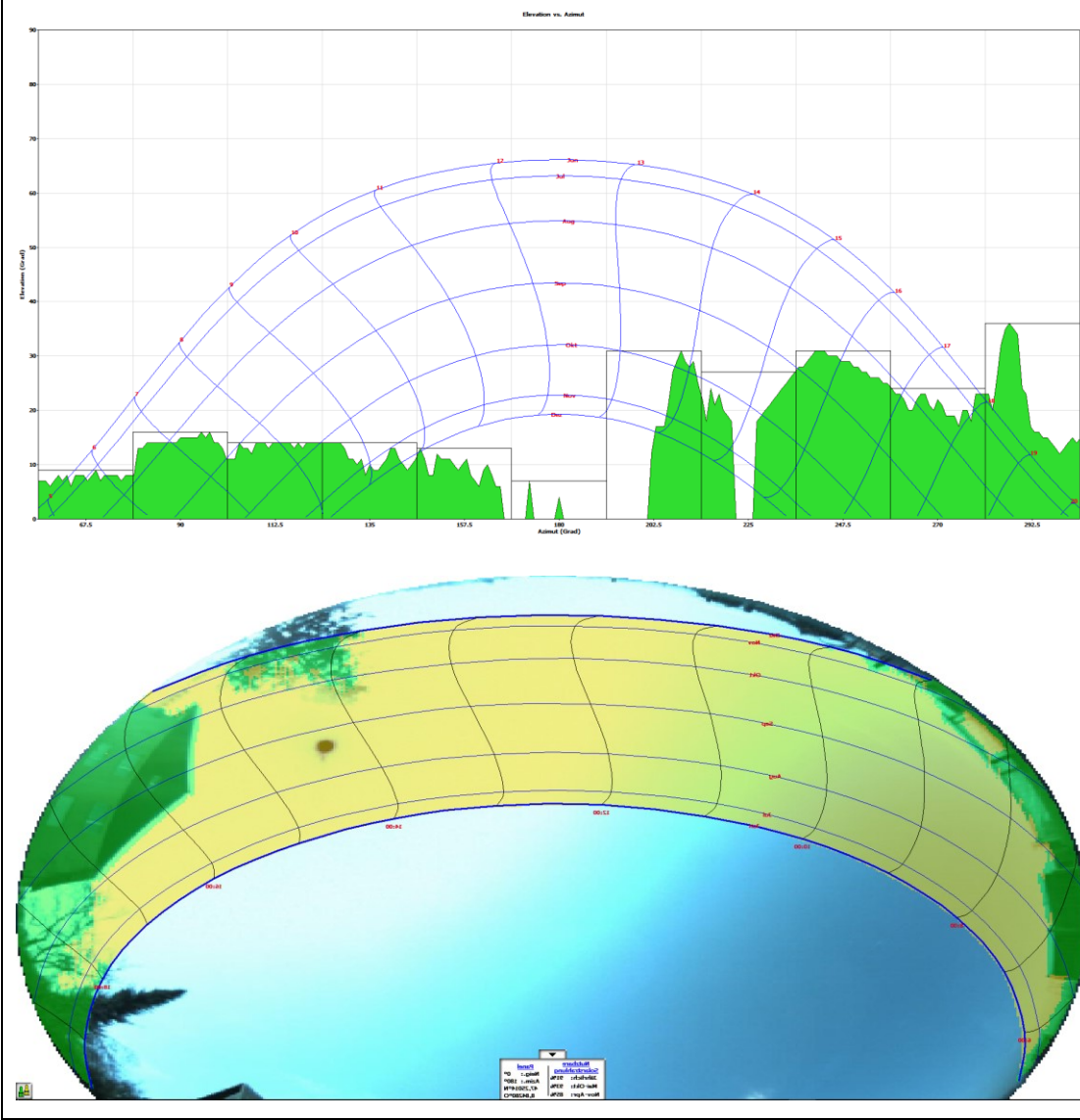


W3000E3

Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	<100*
Gebäude	EFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	312
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	52
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	27
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	62
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	75
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	

Eichwiesstrasse 48, 8630 Rüti

W3000M1

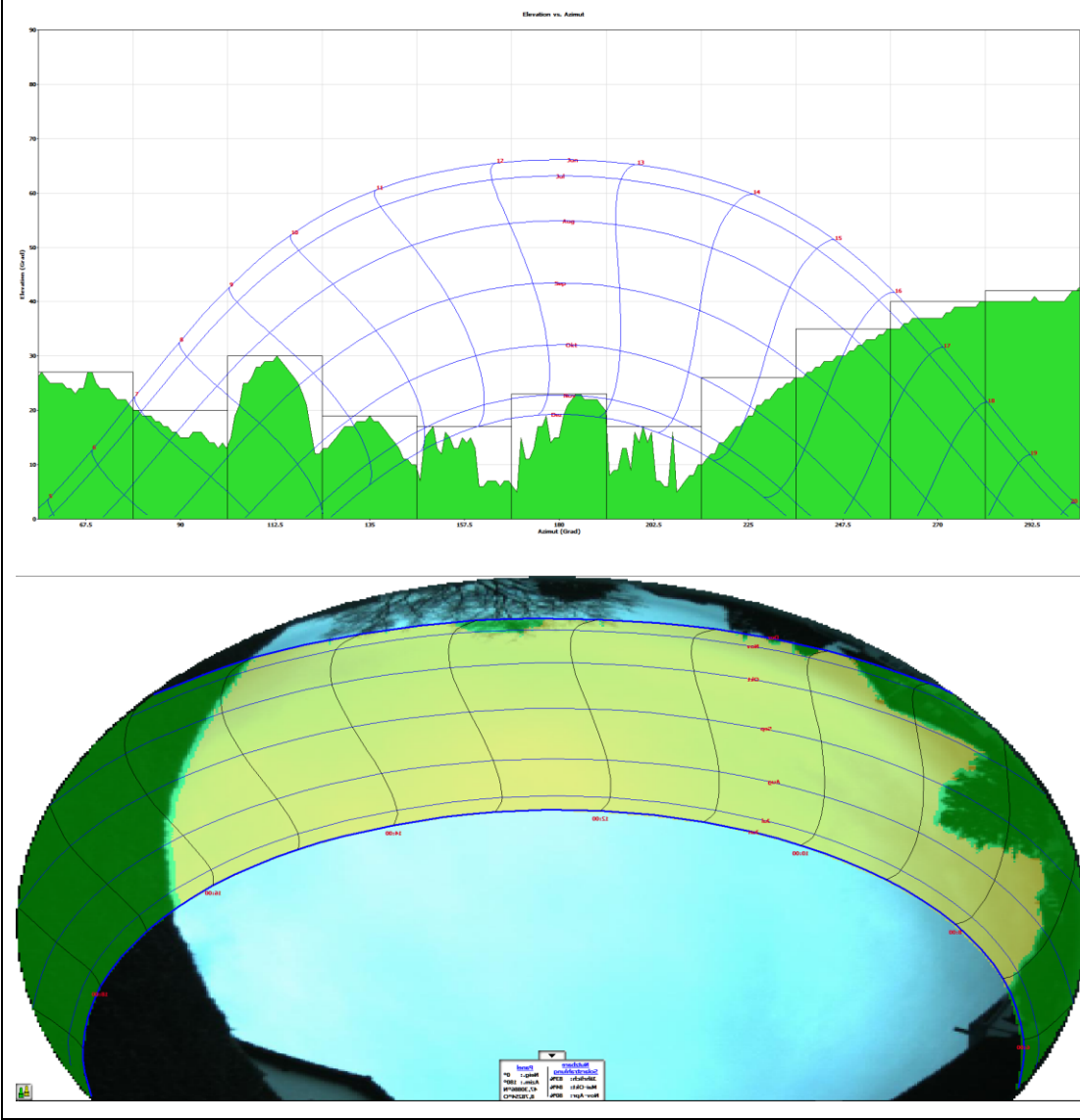


Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	<100*
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	330
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	90
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	81
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	96
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	89
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	



Grütacherstrasse 5, 8624 Grüt

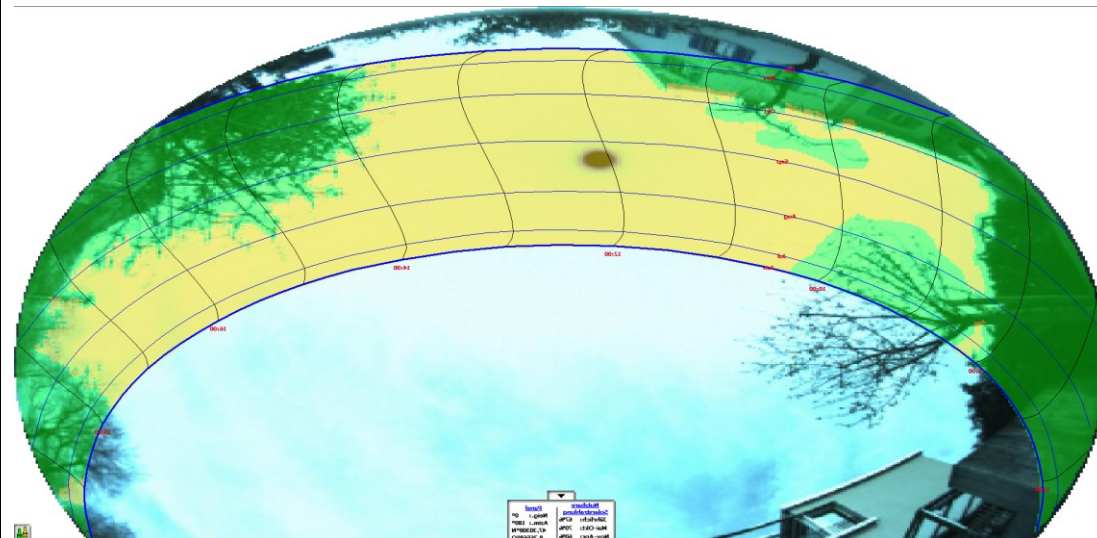
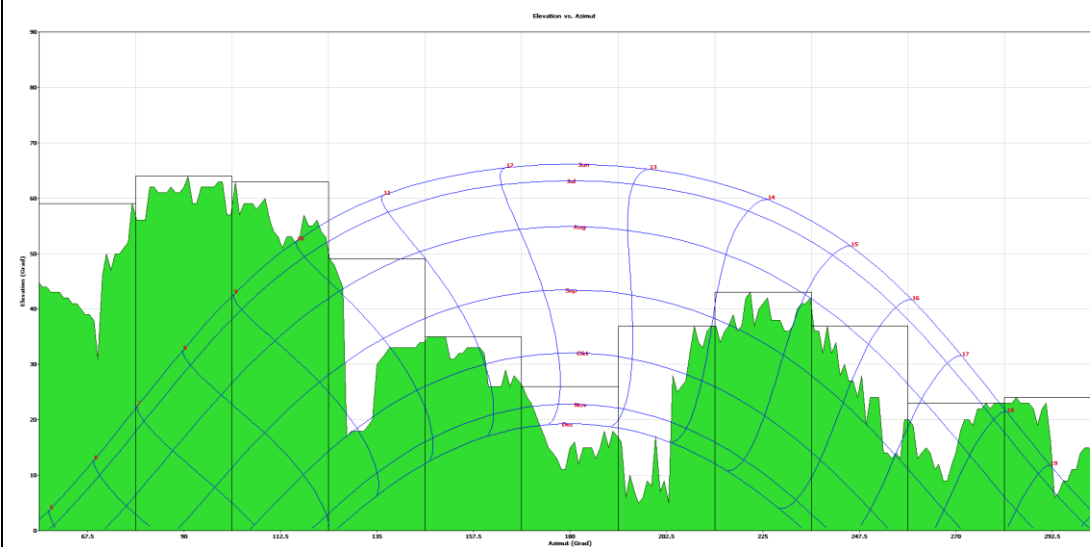
W3000M2



Bauzone	W3N
Nutzungsichte [Pers./ha]	<100*
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	99
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	84
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	80
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	97
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	95
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	

## Langackerweg 24, 8155 Niederhasli

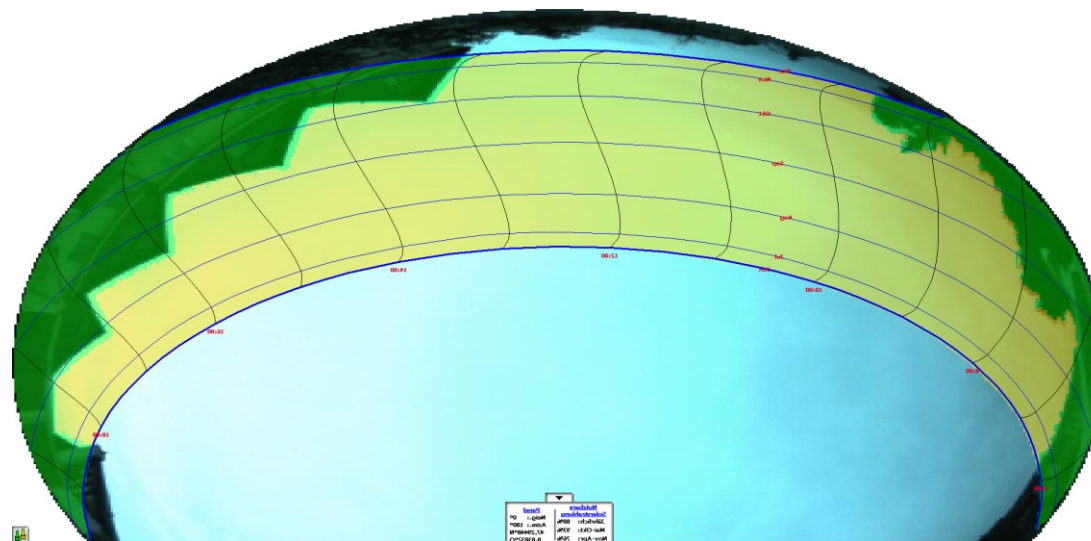
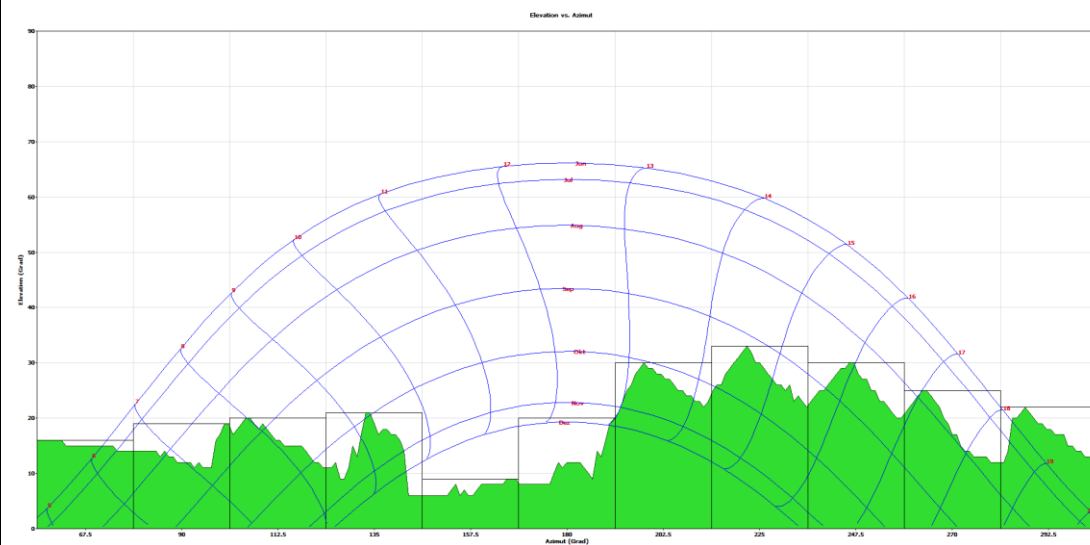
W3000M3



Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	94
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	35
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	64
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	72
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	67
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	78

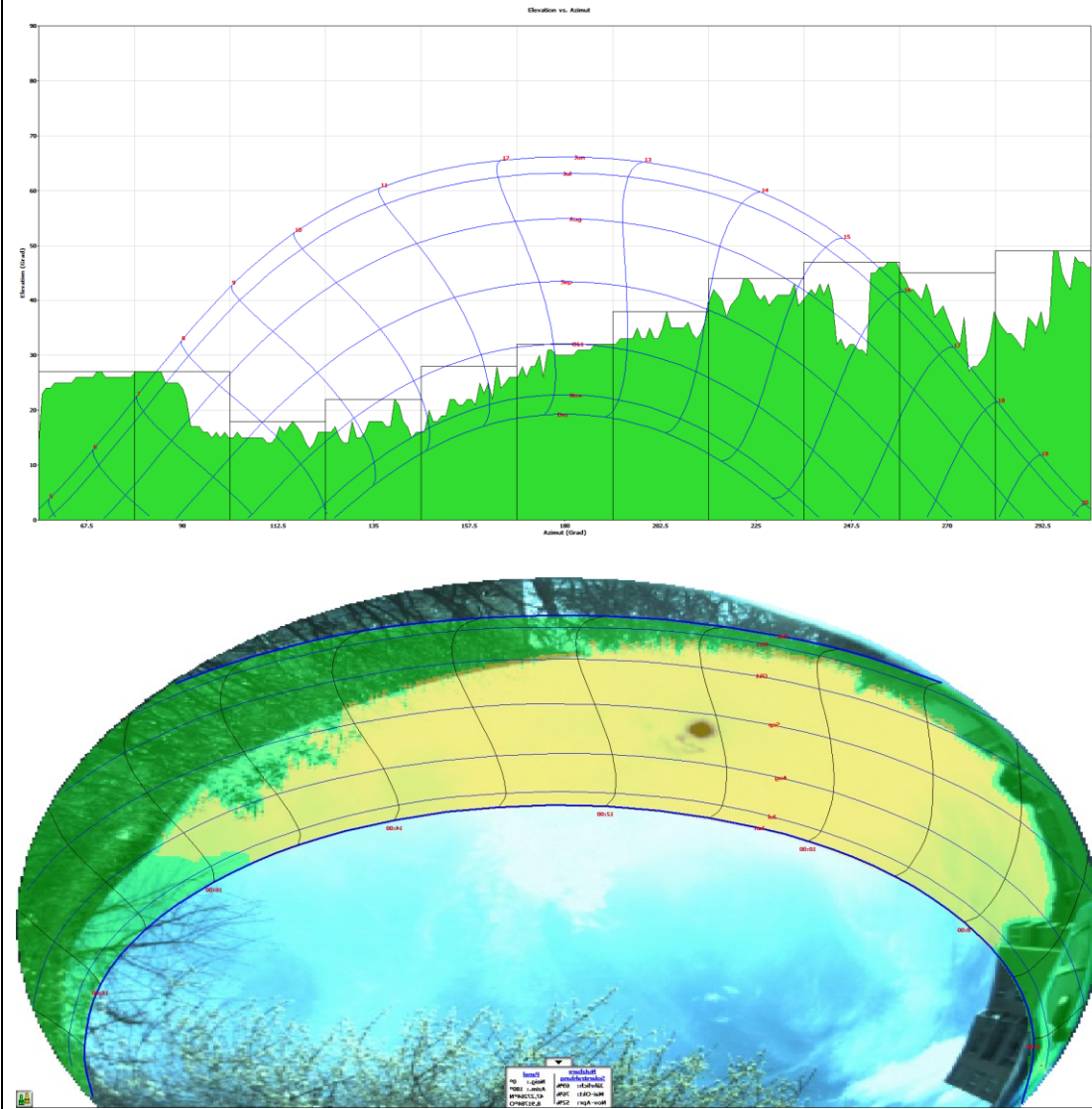
**Neuacherstrasse 30, 8340 Hinwil**

**W3100R1**



Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	116
Gebäude	REFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	58
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	93
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	76
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	93
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	79

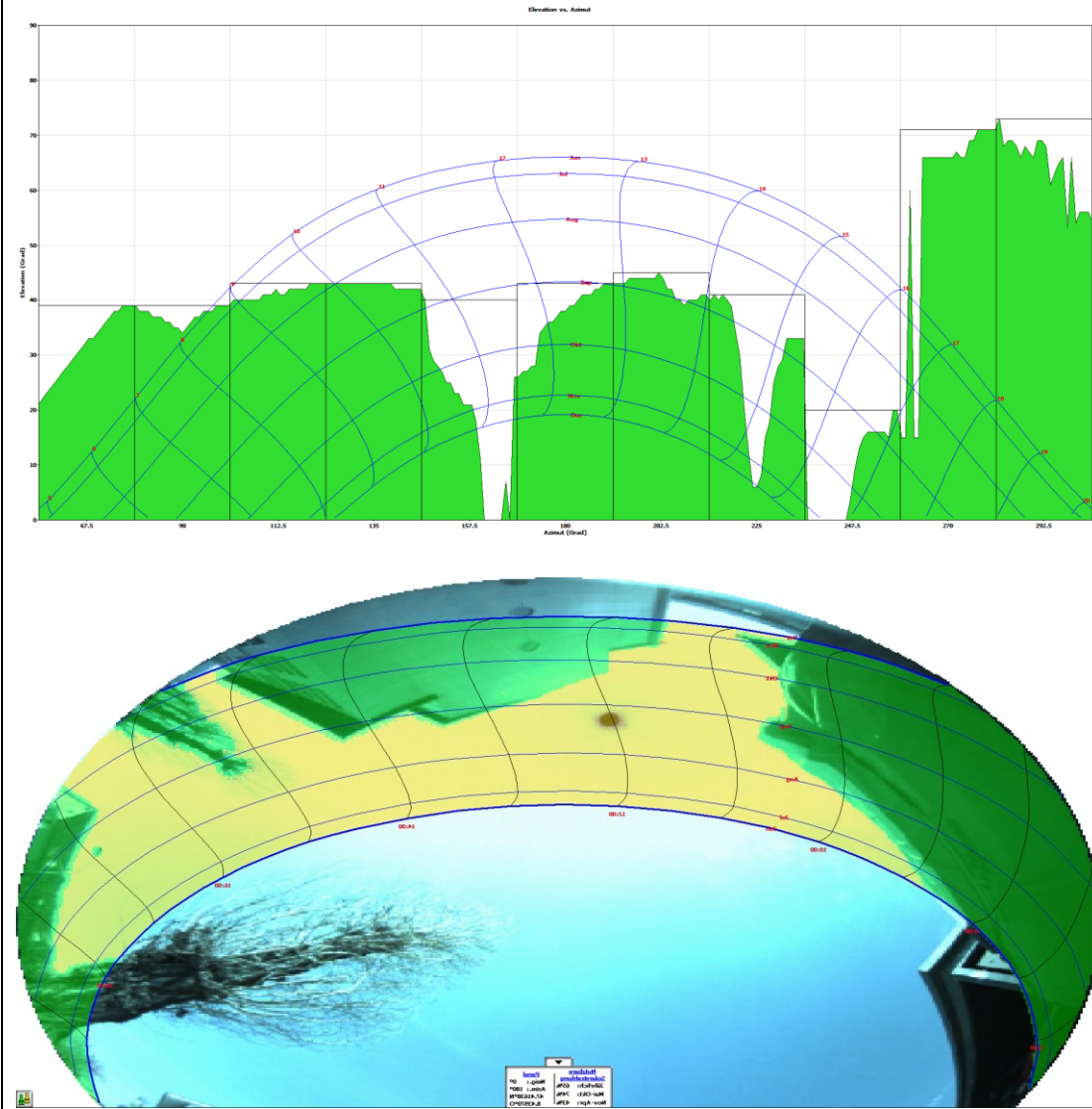
Sunnematte 18, 8636 Wald



W3100R2

Bauzone	W3N
Nutzungsichte [Pers./ha]	143
Gebäude	REFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	115
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	76
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	52
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	95
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	83

Grossächerstrasse 19, 8104 Weiningen



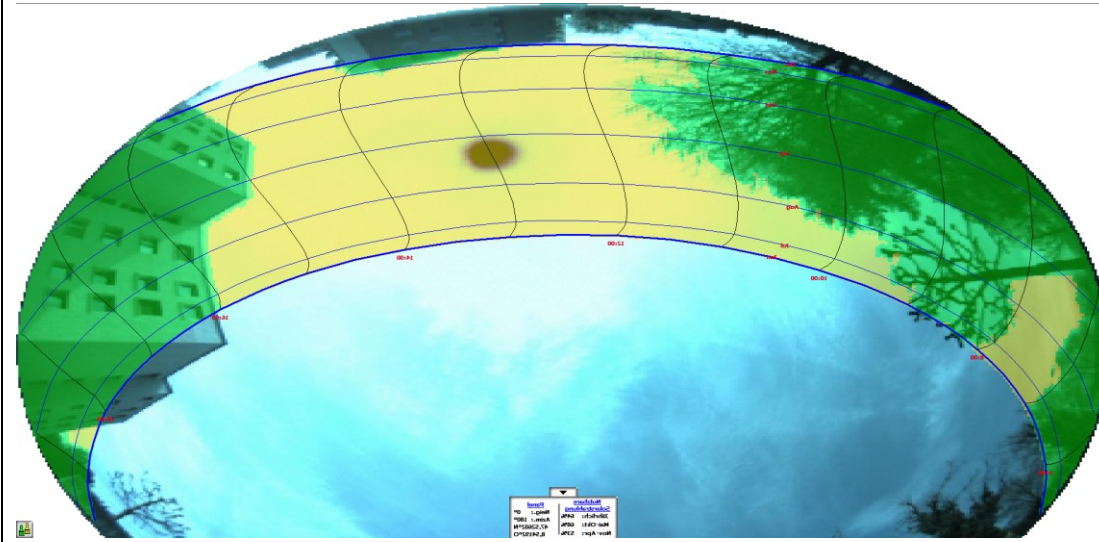
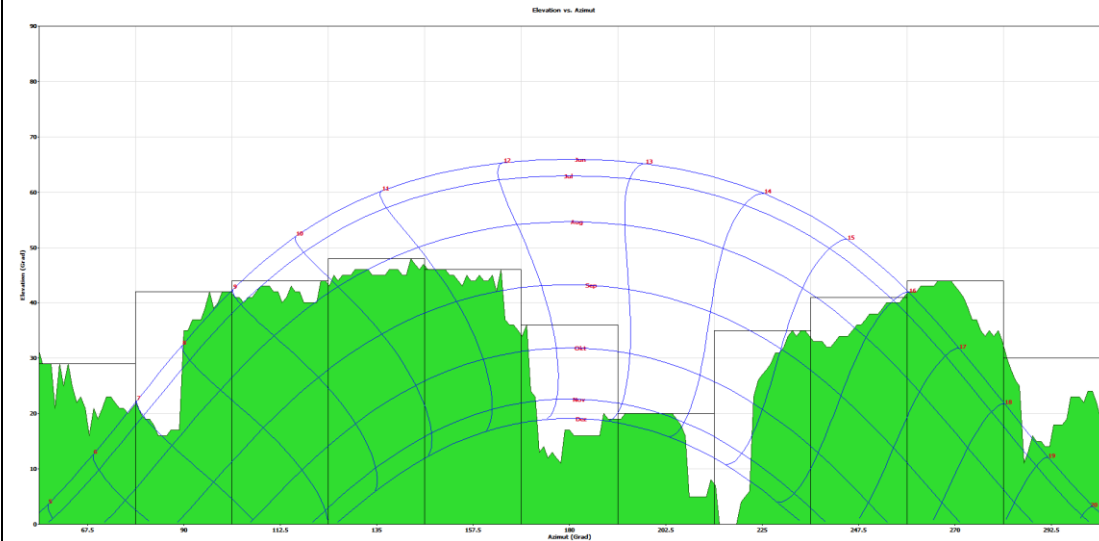
W3100R3

Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	135
Gebäude	REFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	308
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	74
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	43
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	77
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	46



Solibodenstrasse 8, 8180 Bülach

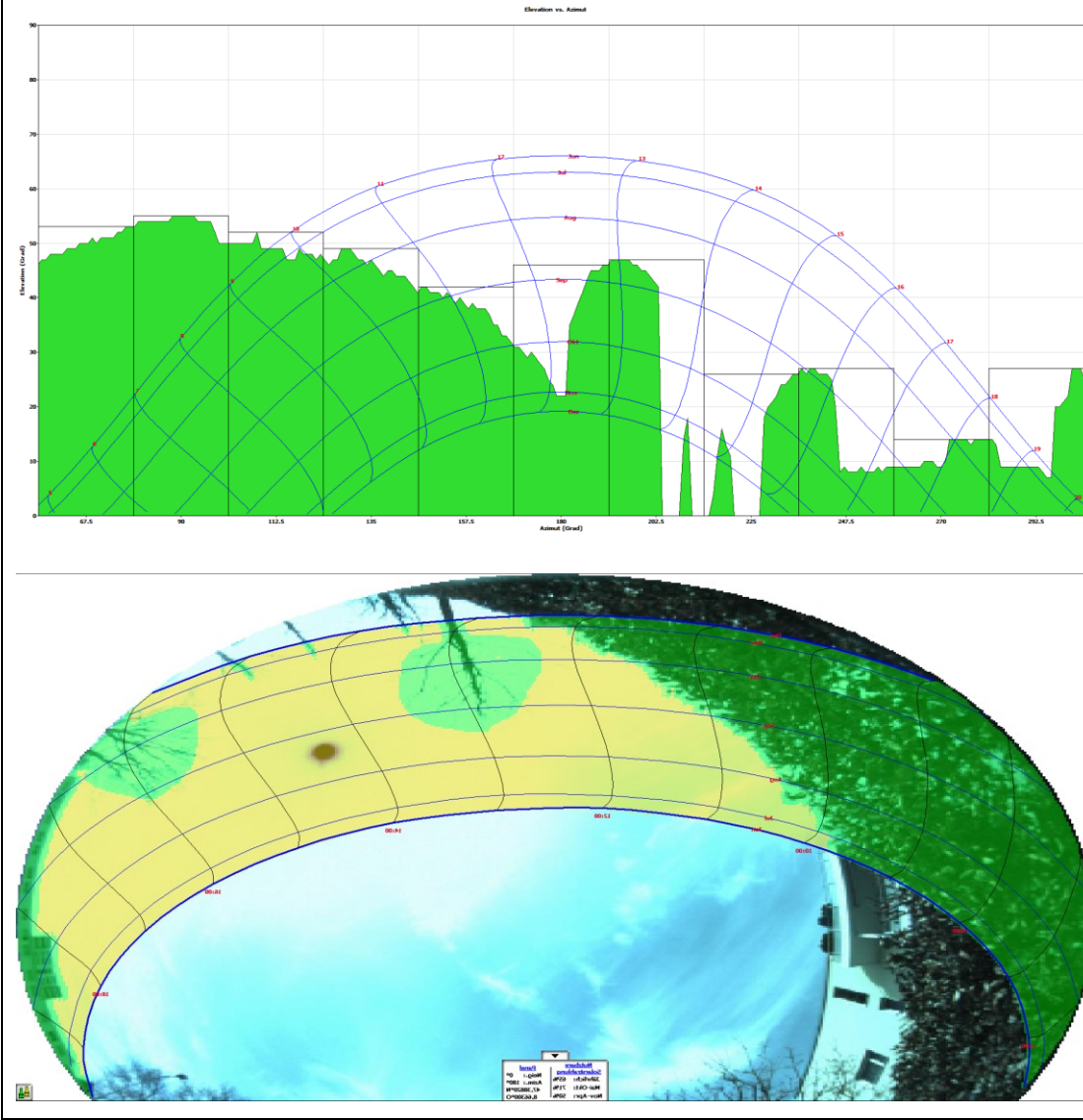
W3100M1



Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	109
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	298
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	68
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	53
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	84
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	82

Riedstrasse 24, 8604 Volketswil

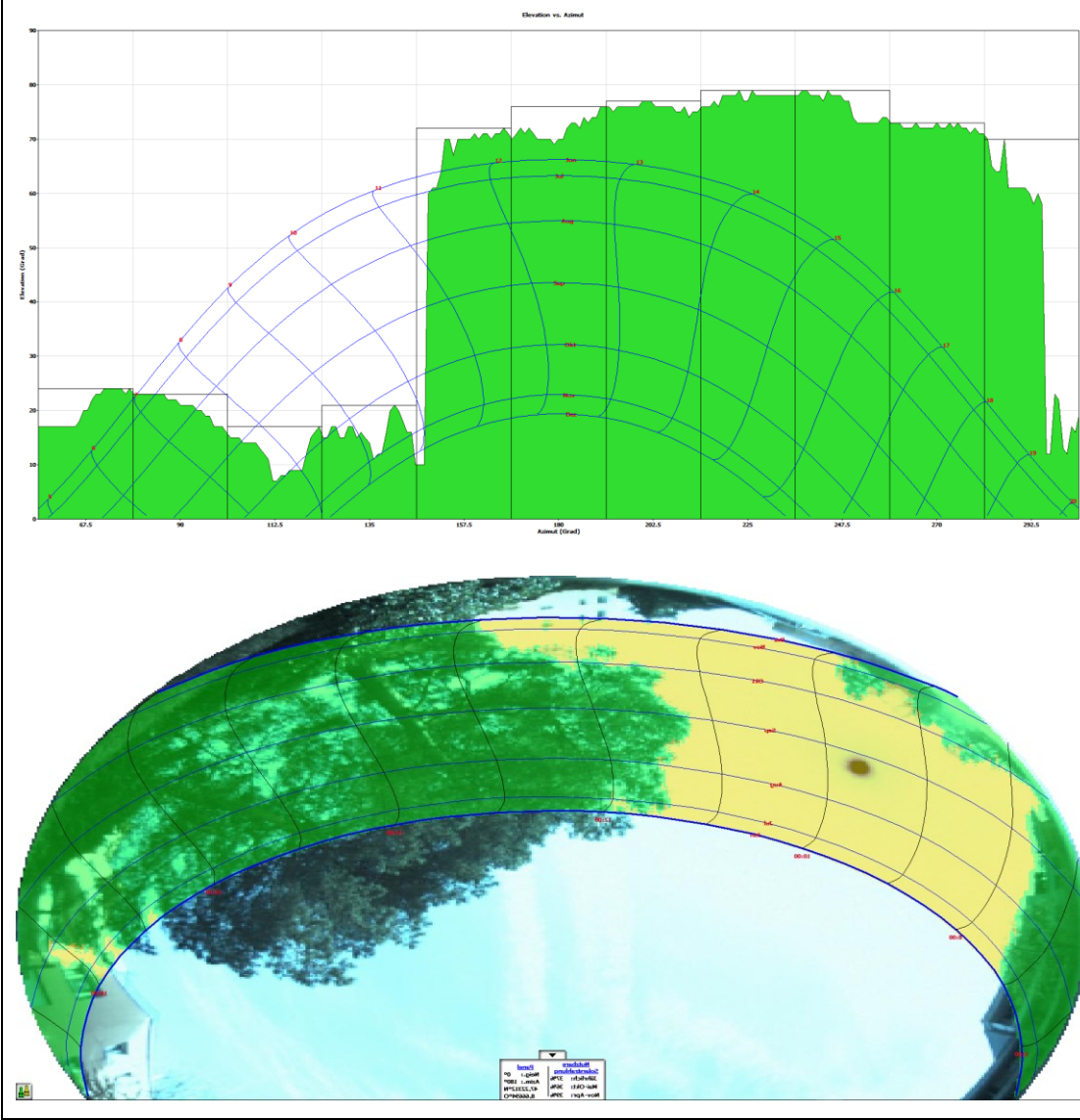
W3100M2



Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	121
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	288
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	71
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	50
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	82
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	94

Obere Leihofstrasse 24, 8820 Wädenswil

W3100M3

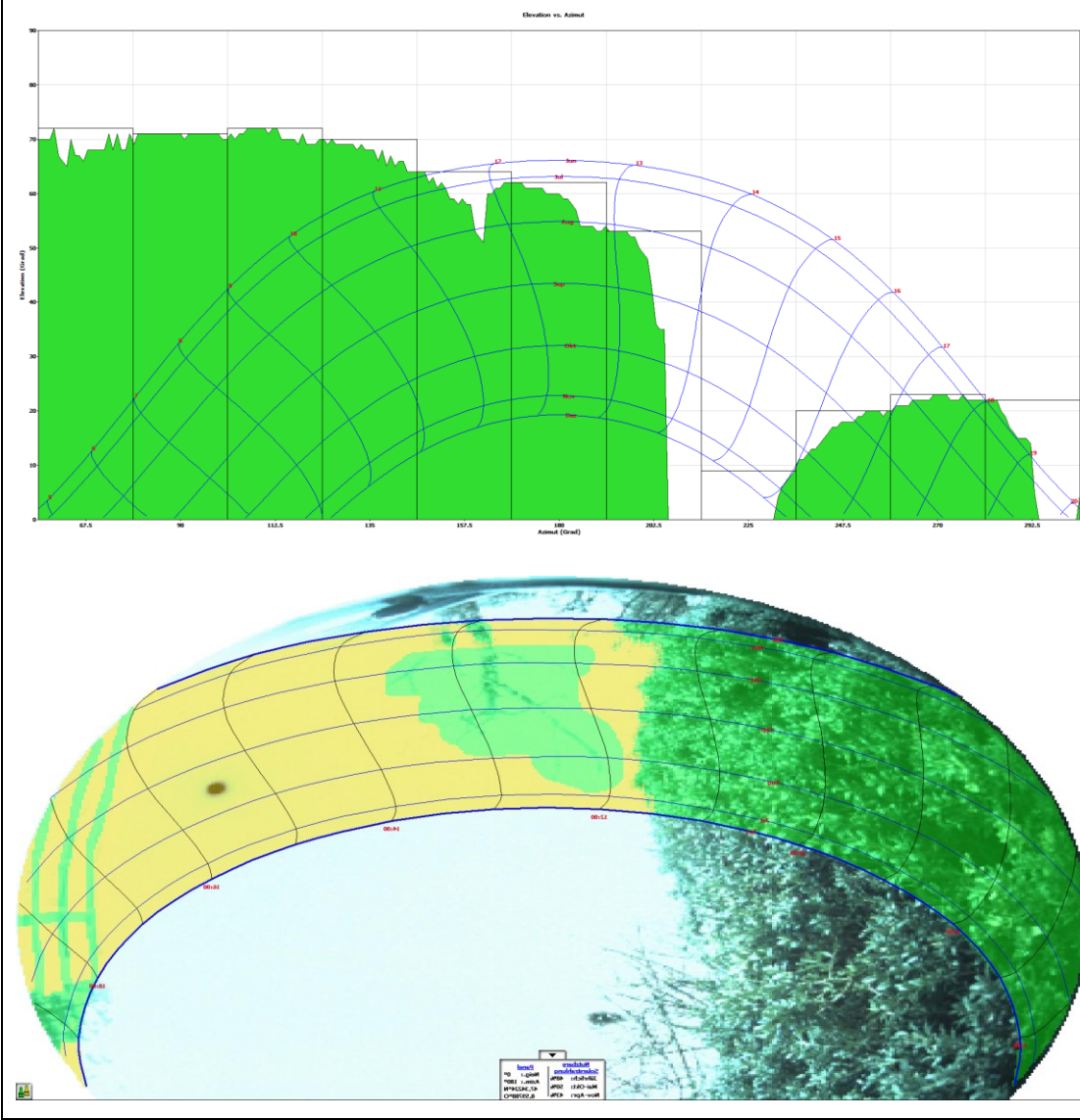


Bauzone	W3
Nutzungsichte [Pers./ha]	124
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	52
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	36
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	39
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	91
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	86



Im Ahorn 8, 8125 Zollikon

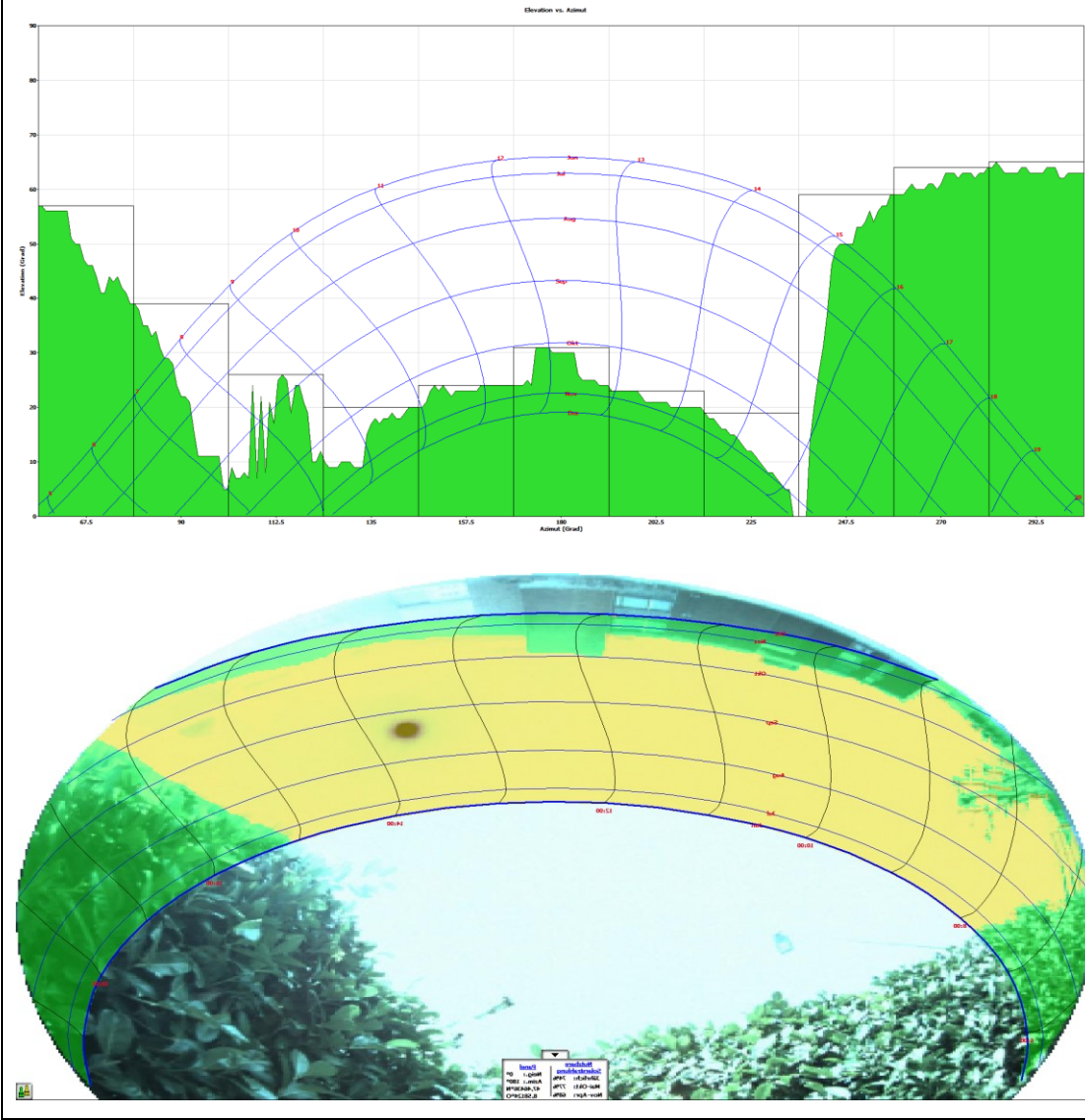
W4000M1



Bauzone	W4N
Nutzungsichte [Pers./ha]	86
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	98
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	50
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	43
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	67
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	67

Chränzlerstrasse 7, 8302 Kloten

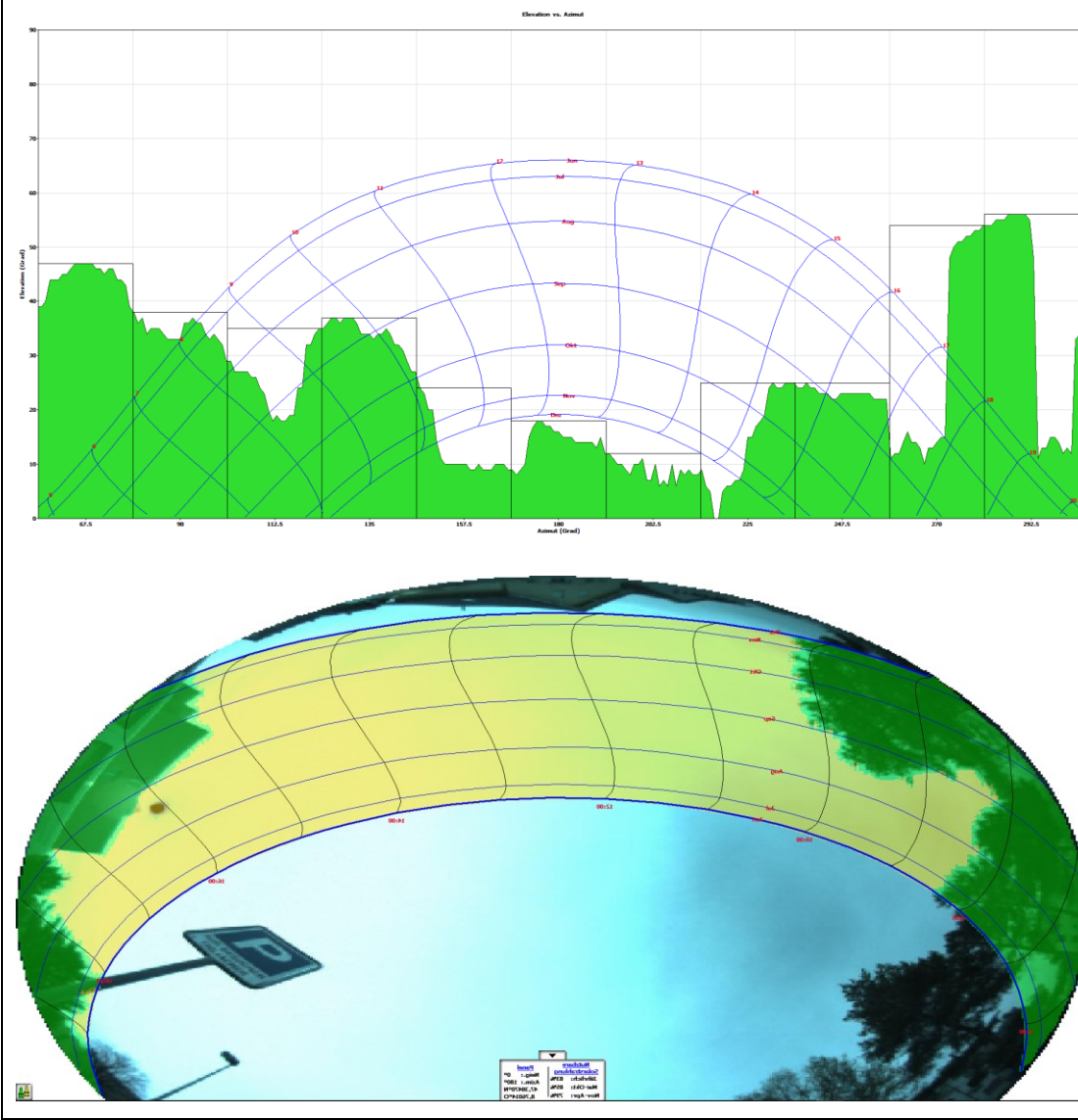
W4000M2



Bauzone	W4H
Nutzungsichte [Pers./ha]	<100*
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	100
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	77
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	68
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	100
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	77
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	

Tisliacherstrasse 3, 8320 Fehraltorf

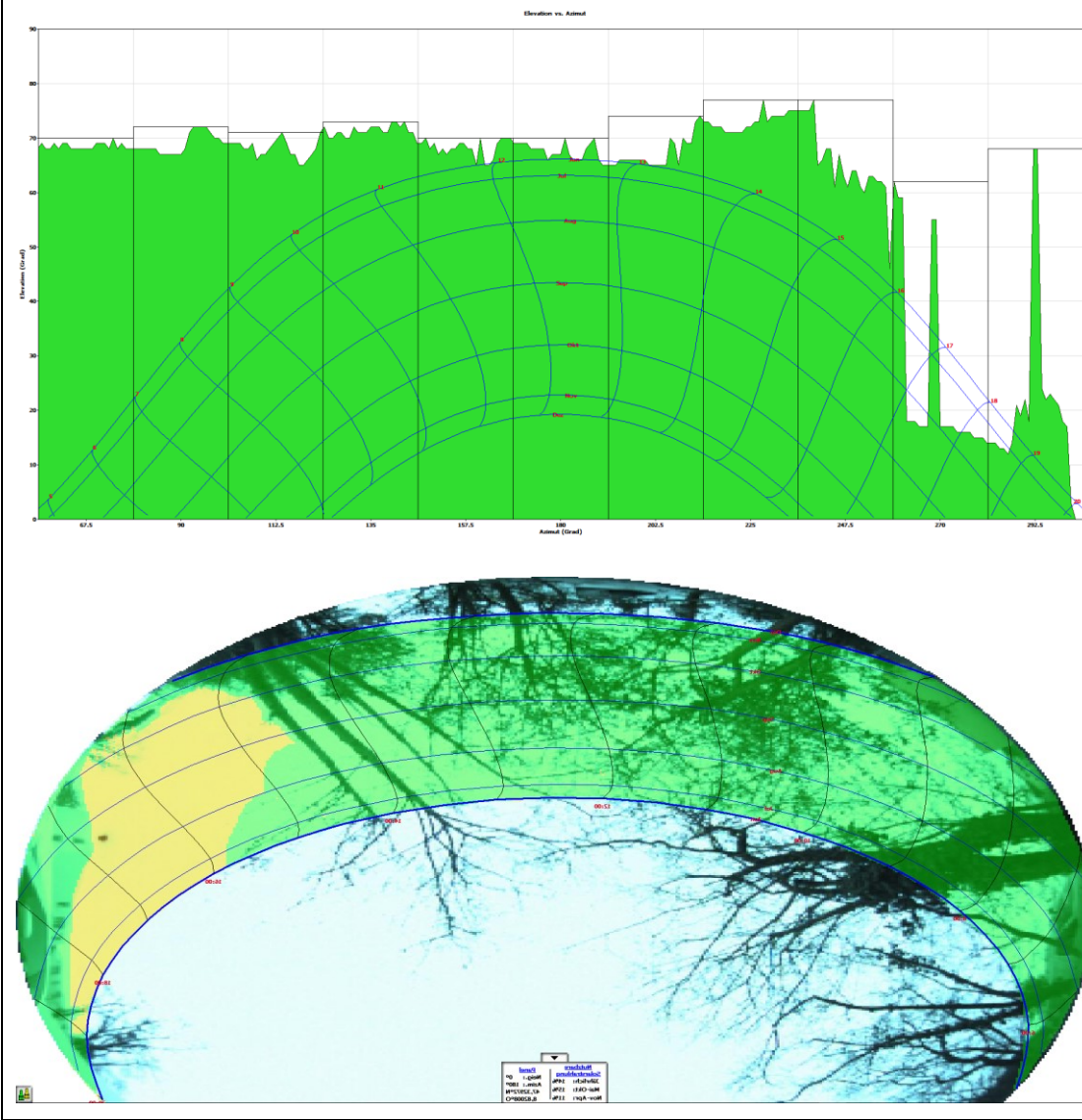
W4000M3



Bauzone	W4N
Nutzungsichte [Pers./ha]	87
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	75
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	85
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	79
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	94
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	90

Mönchbergstrasse 2, 8623 Wetzikon

W4100M1

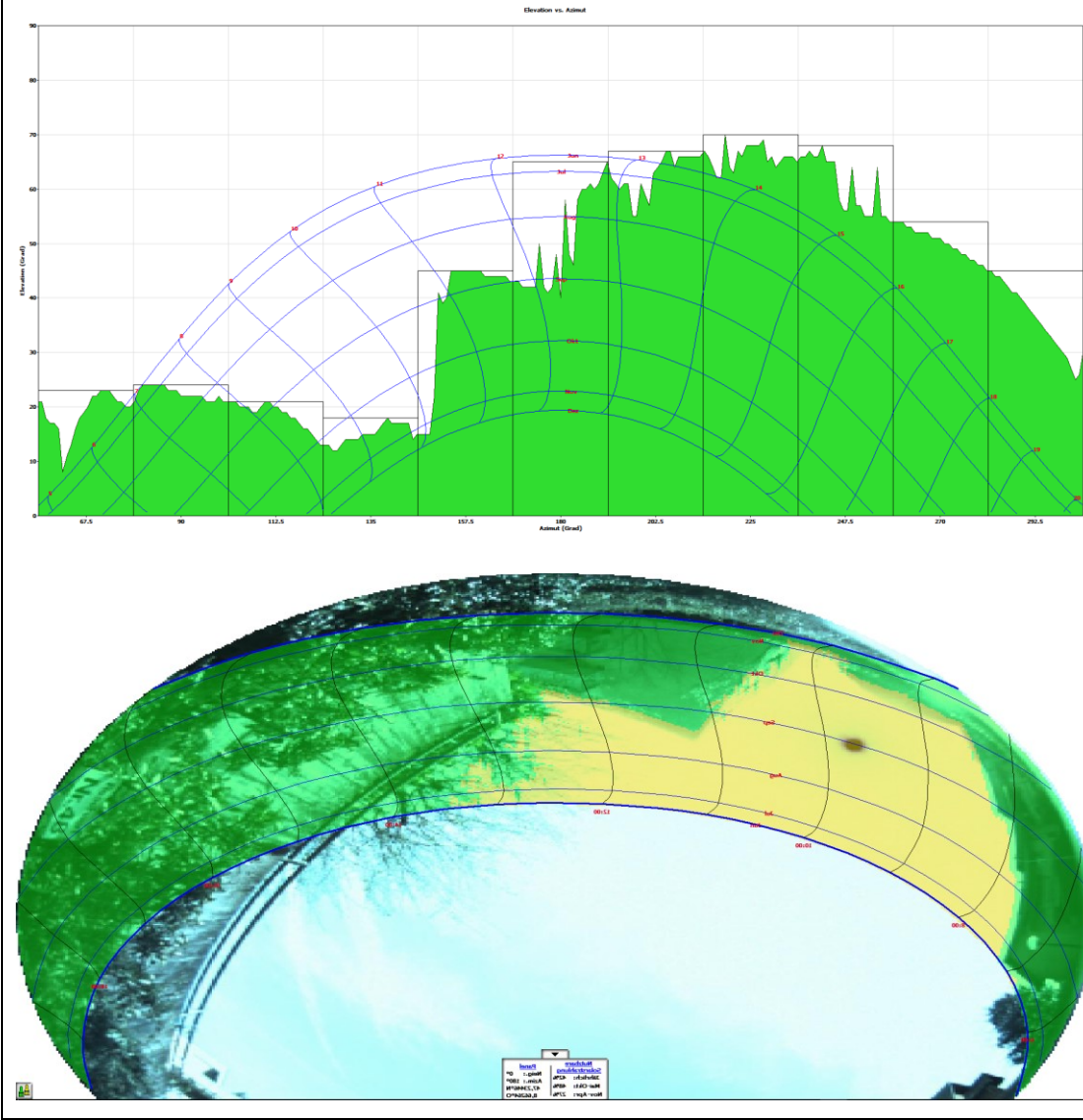


Bauzone	W4N
Nutzungsichte [Pers./ha]	100-150*
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	315
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	15
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	10
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	95
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	92
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	



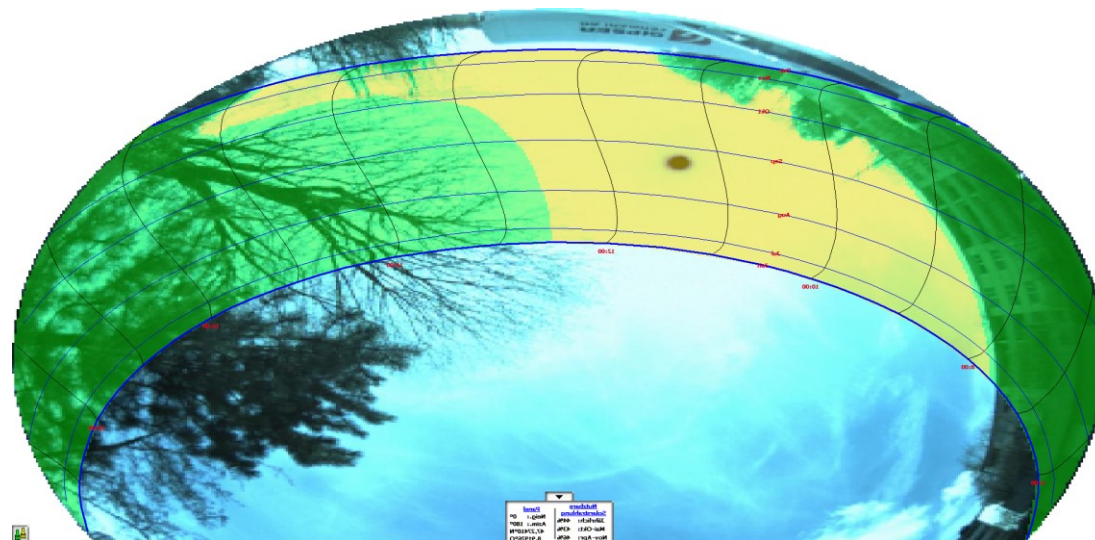
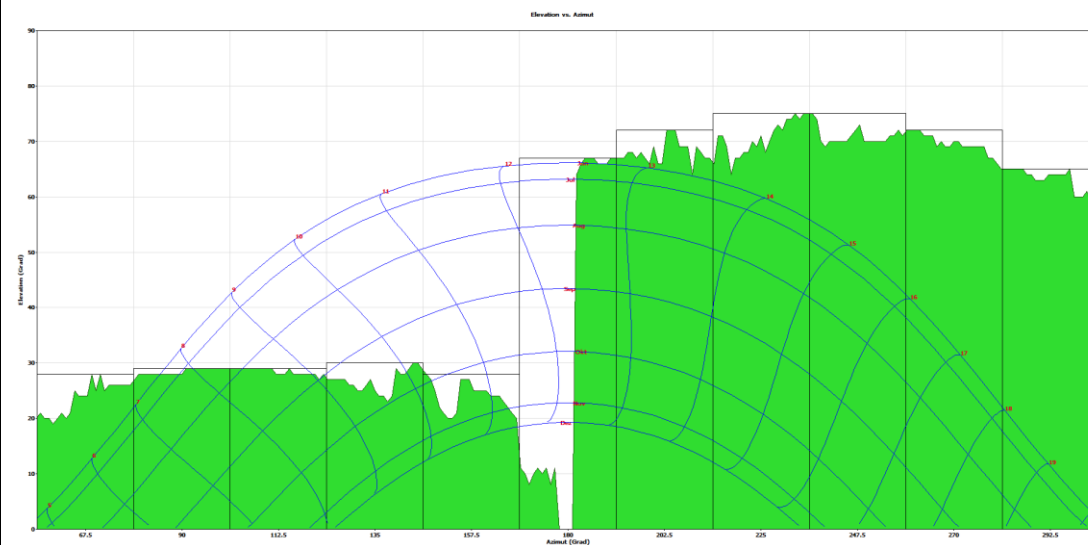
Neudorfstrasse 39, 8820 Wädenswil

W4100M2



Bauzone	W4
Nutzungsichte [Pers./ha]	131
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	44
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	48
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	27
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	57
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	32

## Schüsselwiese 7, 8636 Wald

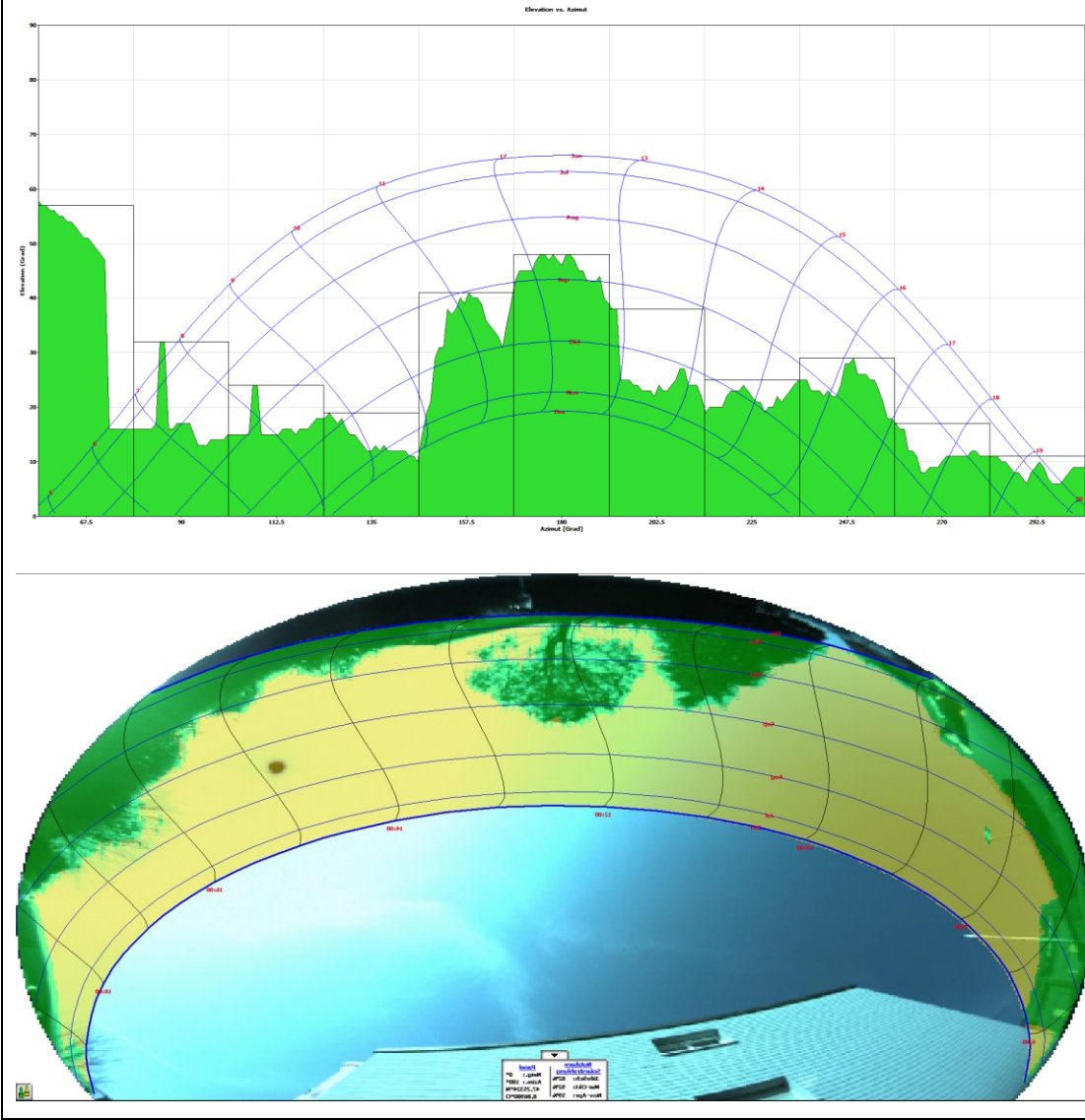


## W4100M3

Bauzone	W4N
Nutzungsichte [Pers./ha]	129
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	91
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	43
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	46
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	91
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	86
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	

Weierstrasse 11, 8630 Rüti

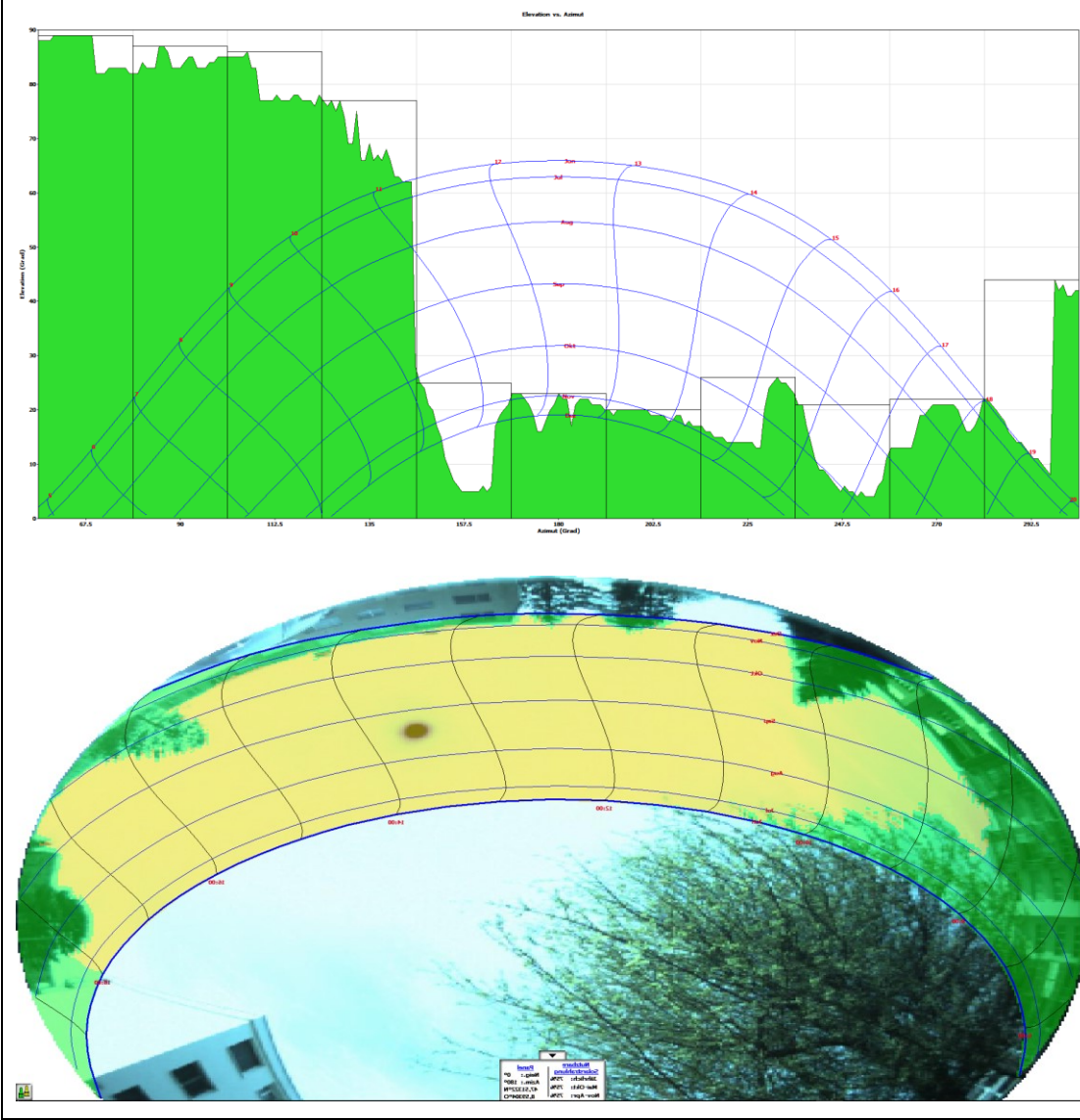
W4150M1



Bauzone	W4
Nutzungsichte [Pers./ha]	204
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	213
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	92
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	59
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	96
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	74

Im Feld 12, 8424 Embrach

W4150M2

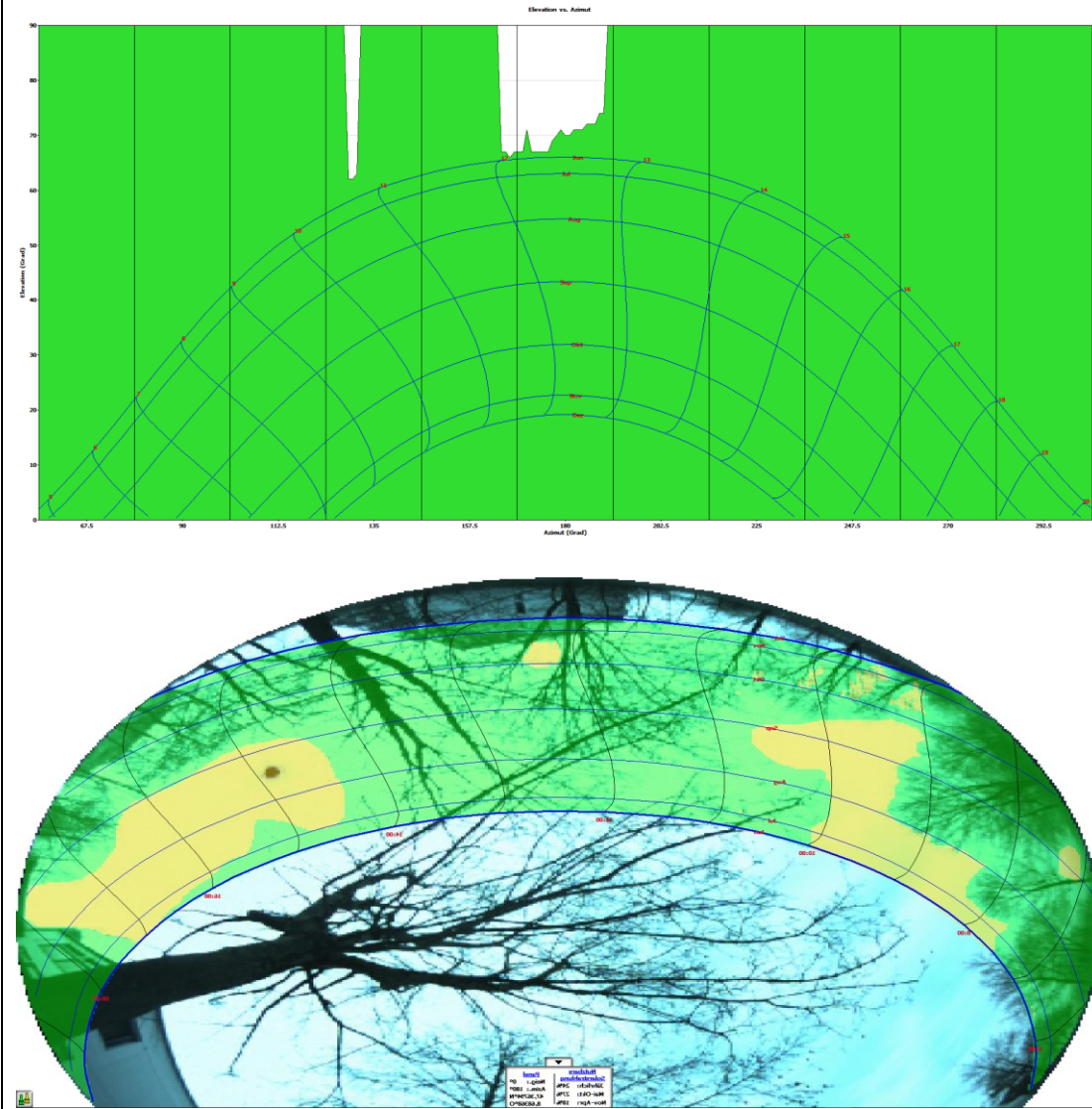


Bauzone	W4
Nutzungsichte [Pers./ha]	164
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	175
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	75
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	75
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	90
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	83
*Genaue Nutzungsichte aus Datenschutzgründen nicht ersichtlich	



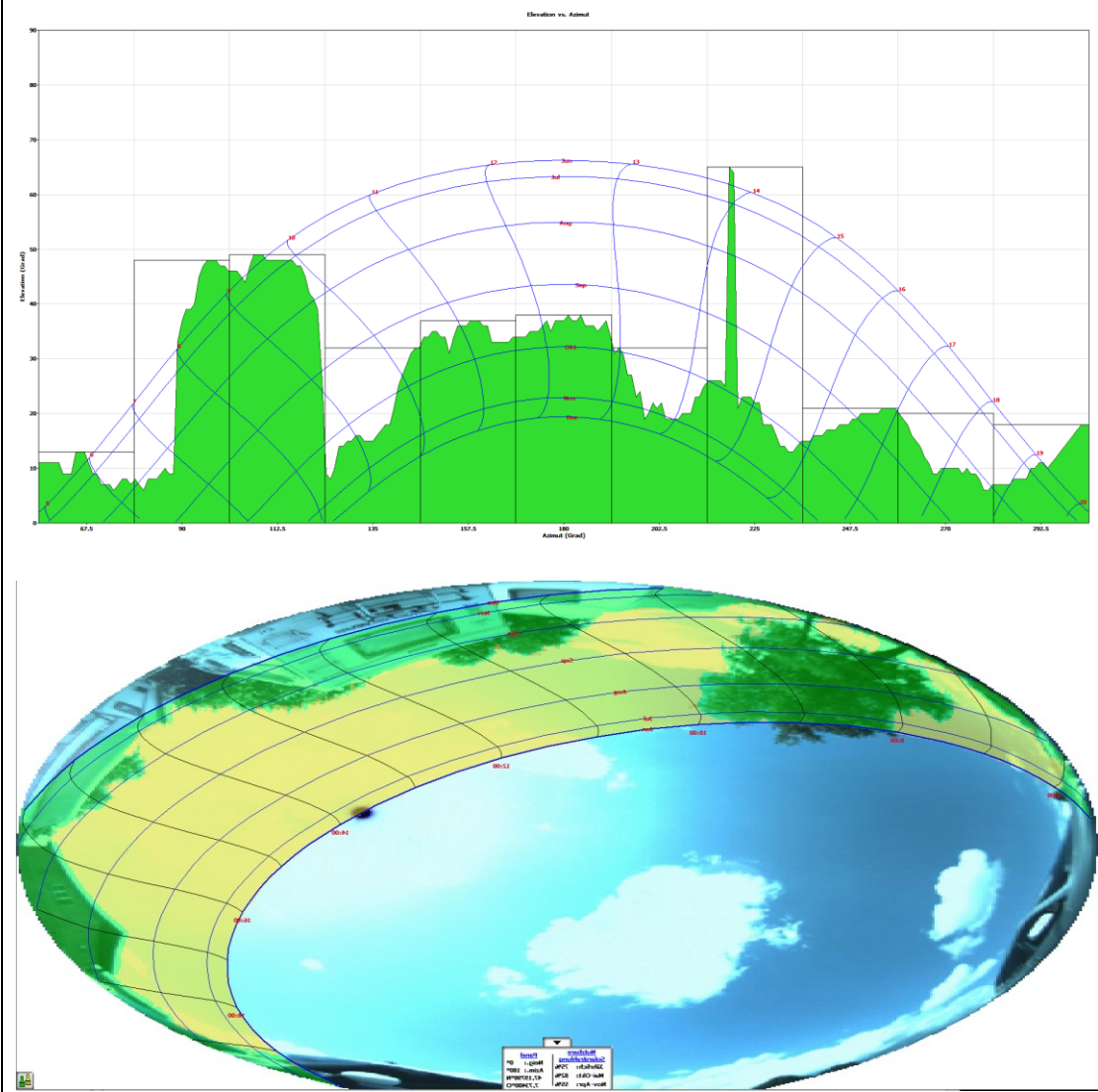
Mühleweiher 2, 8606 Greifensee

W4150M3



Bauzone	W4
Nutzungsichte [Pers./ha]	196
Gebäude	MHF
Ausrichtung der Einfahrt [°]	262
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	27
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	18
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	94
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	90
Die Überbauung hat nur Tiefgaragenplätze. Dadurch wurde ein Parkplatz in unmittelbarer Nähe vermessen.	

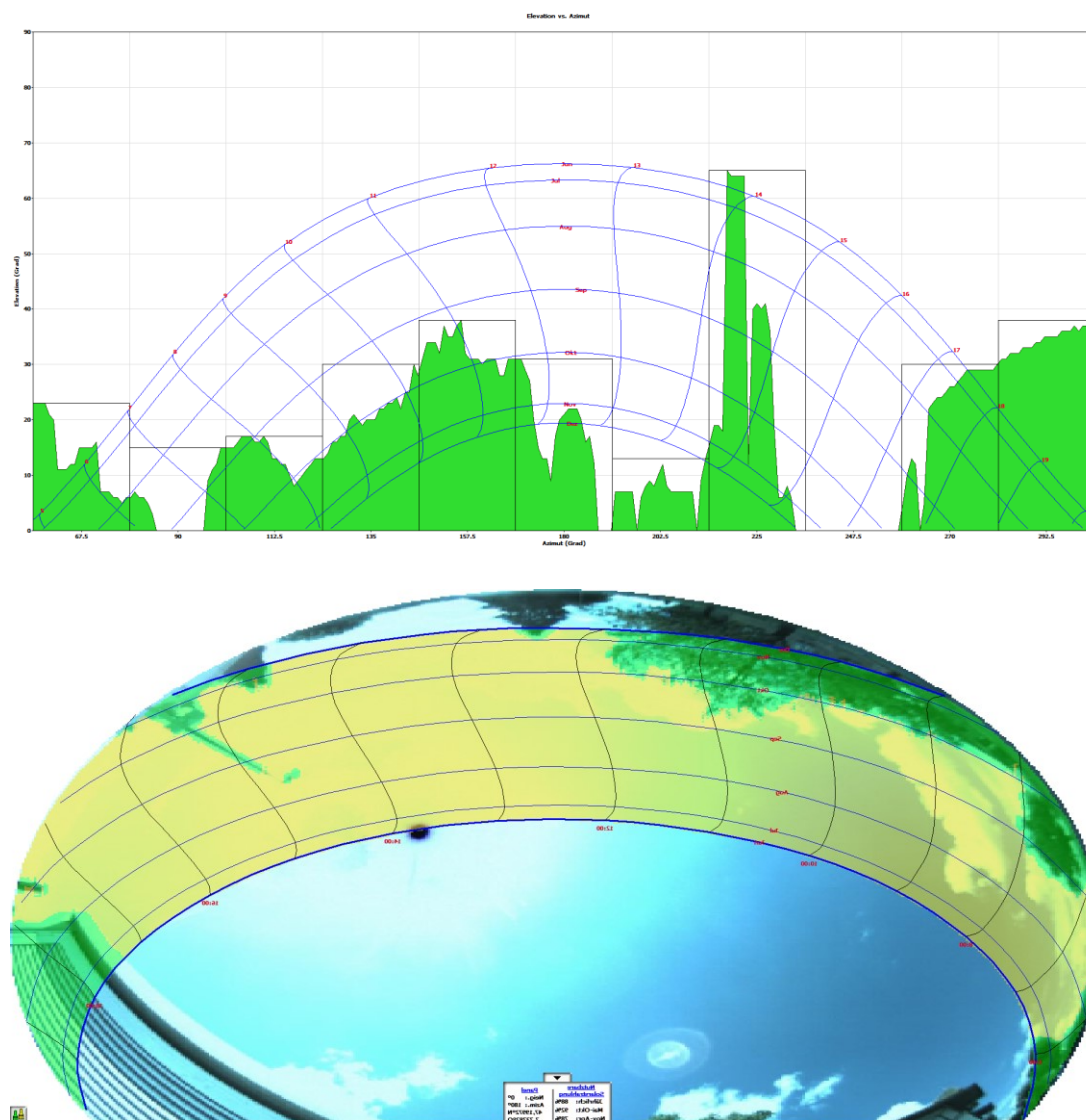
Butzimatt 131, 4922 Thunstetten



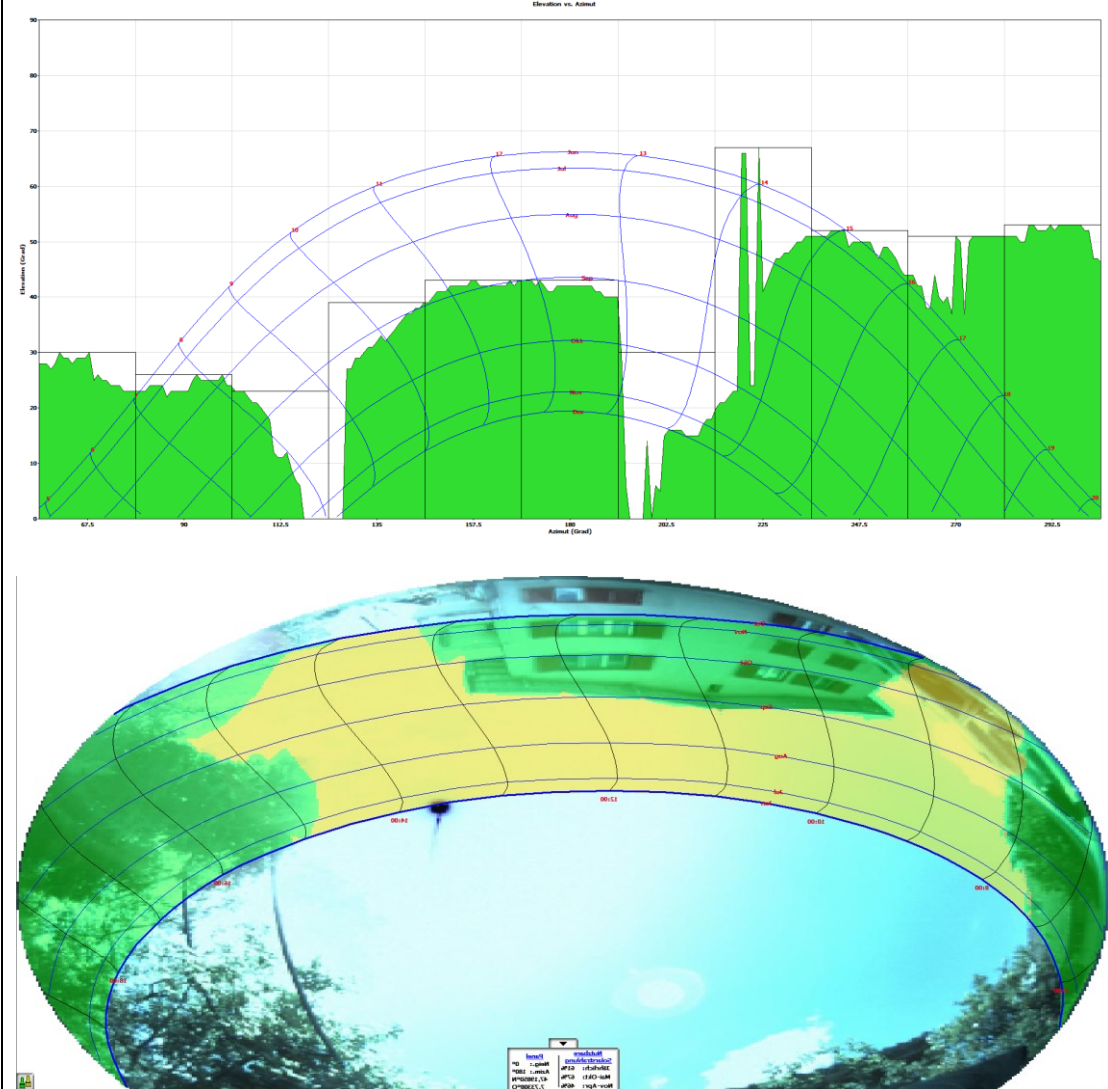
Bauzone	-
Nutzungsichte [Pers./ha]	-
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	358
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	82
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	55
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	97
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	69
Sonnenpfad muss manuell angepasst werden, da die Richtung vom SunEye nicht korrekt ausgelesen wurde.	

**Forst 101, 4922 Thunstetten**

**P2**



Bauzone	-
Nutzungsichte [Pers./ha]	-
Gebäude	MFH
Ausrichtung der Einfahrt [°]	153
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	92
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	78
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	94
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	95

Butzimatt 134, 4922 Thunstetten		P3
	Bauzone	-
	Nutzungsichte [Pers./ha]	-
Gebäude	EFH	
Ausrichtung der Einfahrt [°]	182	
Nutzbare Sonnenstrahlung Mai-Oktober [%]	67	
Nutzbare Sonnenstrahlung November-April [%]	46	
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung Mai-Oktober [%]	91	
Potentielle nutzbare Sonnenstrahlung ohne Begrünung November-April [%]	66	
Sonnenpfad muss manuell angepasst werden, da die Richtung vom SunEye nicht korrekt ausgelesen wurde.		

Parkplatz	Nutzbare Solarstrahlung [%]		Potential Solarstrahlung [%]	
	Mai-Oktober	November-April	Mai-Oktober	November-April
W1025E1	16	10	52	42
W1025E2	86	84	86	84
W1025E3	76	47	80	81
W2050E1	67	63	68	63
W2050E2	82	86	83	89
W2050E3	85	73	86	74
W2100R1	16	0	58	0
W2100R2	37	10	70	49
W2100R3	88	61	88	61
W3000E1	69	58	91	81
W3000E2	70	60	95	85
W3000E3	52	27	62	75
W3000M1	90	81	96	89
W3000M2	84	80	97	95
W3000M3	64	72	67	78
W3100R1	93	76	93	79
W3100R2	76	52	95	83
W3100R3	74	43	77	46
W3100M1	68	53	84	82
W3100M2	71	50	82	94
W3100M3	36	39	91	86
W4000M1	50	43	67	67
W4000M2	77	68	100	77

---

W4000M3	85	79	94	90
W4100M1	15	10	95	92
W4100M2	48	27	57	32
W4100M3	43	46	91	86
W4150M1	92	59	96	74
W4150M2	75	75	90	83
W4150M3	27	18	94	90

---

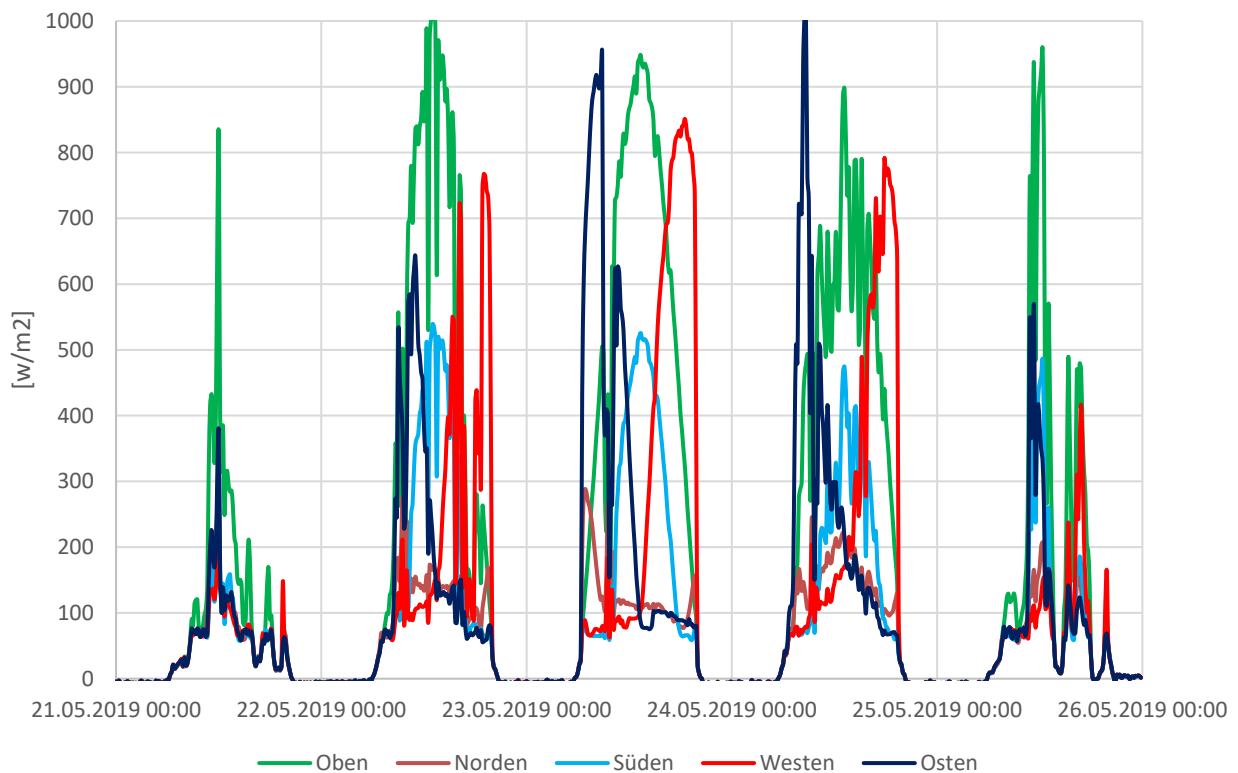


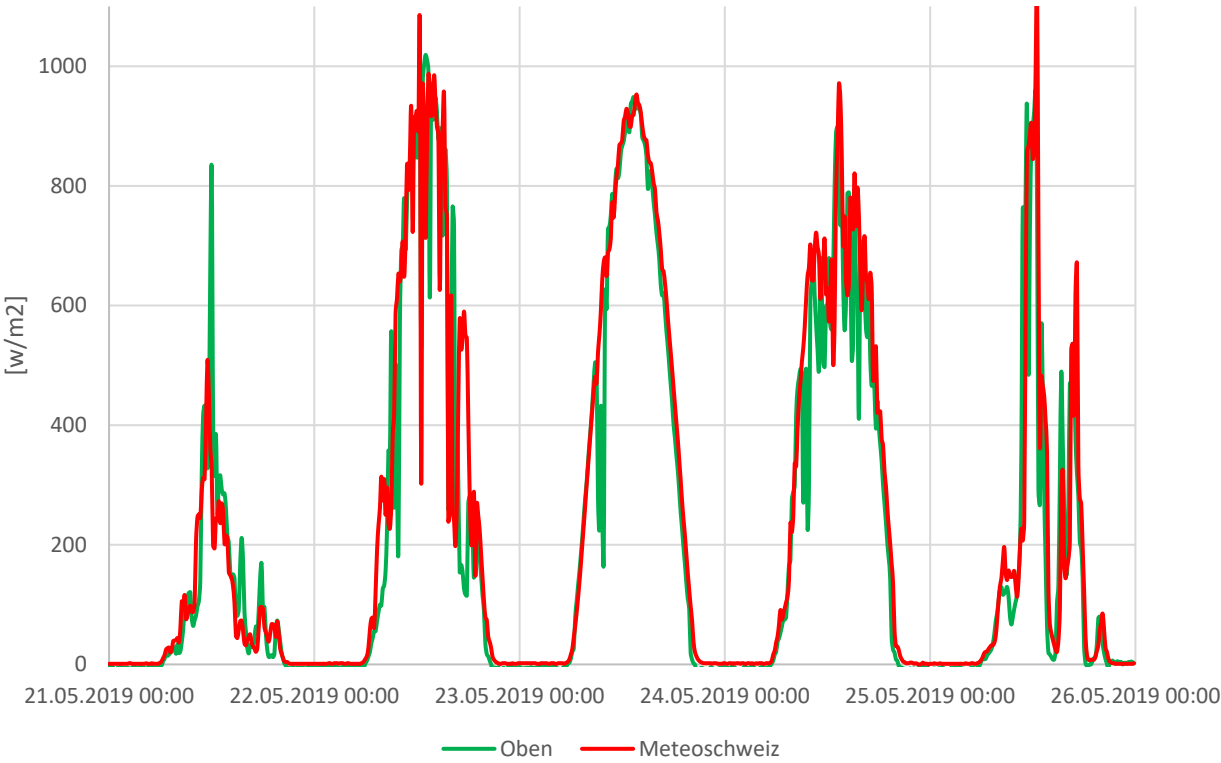
## ANHANG D

Messergebnisse der Einstrahlungsmessungen:

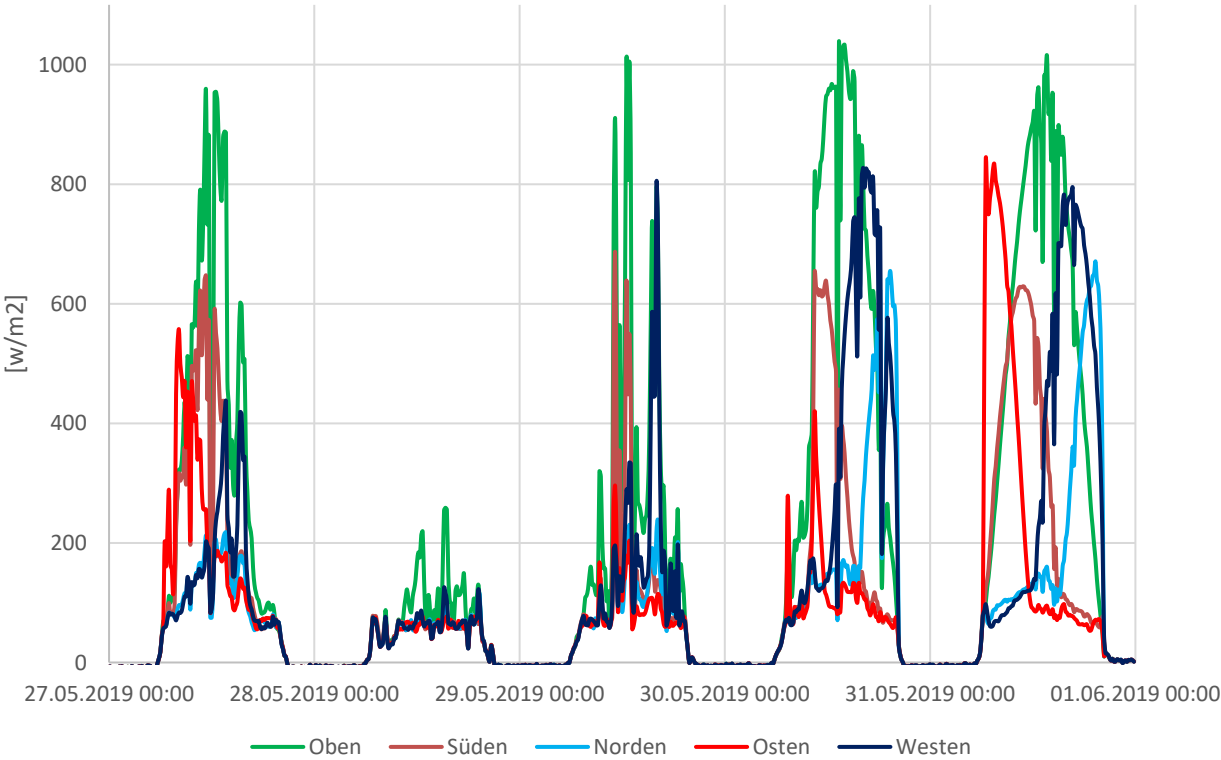
	Einstrahlungsenergie [Wh/m <sup>2</sup> ]					Meteoschweiz
	Pyranometer	Norden 0°	Süden 180°	Westen 270°	Osten 90°	
1.1	11651	6147	5999	5598	6212	10228
1.2	39381	10469	18279	18545	16203	43136
1.3	46261	11119	19888	27084	25368	49455
1.5	38097	12089	15961	23407	20914	43010
1.5	19376	6810	9019	7455	9052	21034
2.1	31759	9702	19842	15916	12420	35041
2.2	7652	4935	4860	4731	5057	9374
2.3	22765	8522	10886	7237	12524	25325
2.4	44986	19014	18597	9685	29819	43109
2.5	48568	20072	25375	22576	30304	49674
3.1	46388	17650	24625	21411	8225	50408
3.2	36625	9831	24064	16348	7234	38603
3.3	43155	15080	22803	20099	8189	48243
3.4	39836	11894	19912	18805	7740	43126
3.5	8485	5659	5402	5399	5164	9325

Parkplatz P1 (Messung 1):

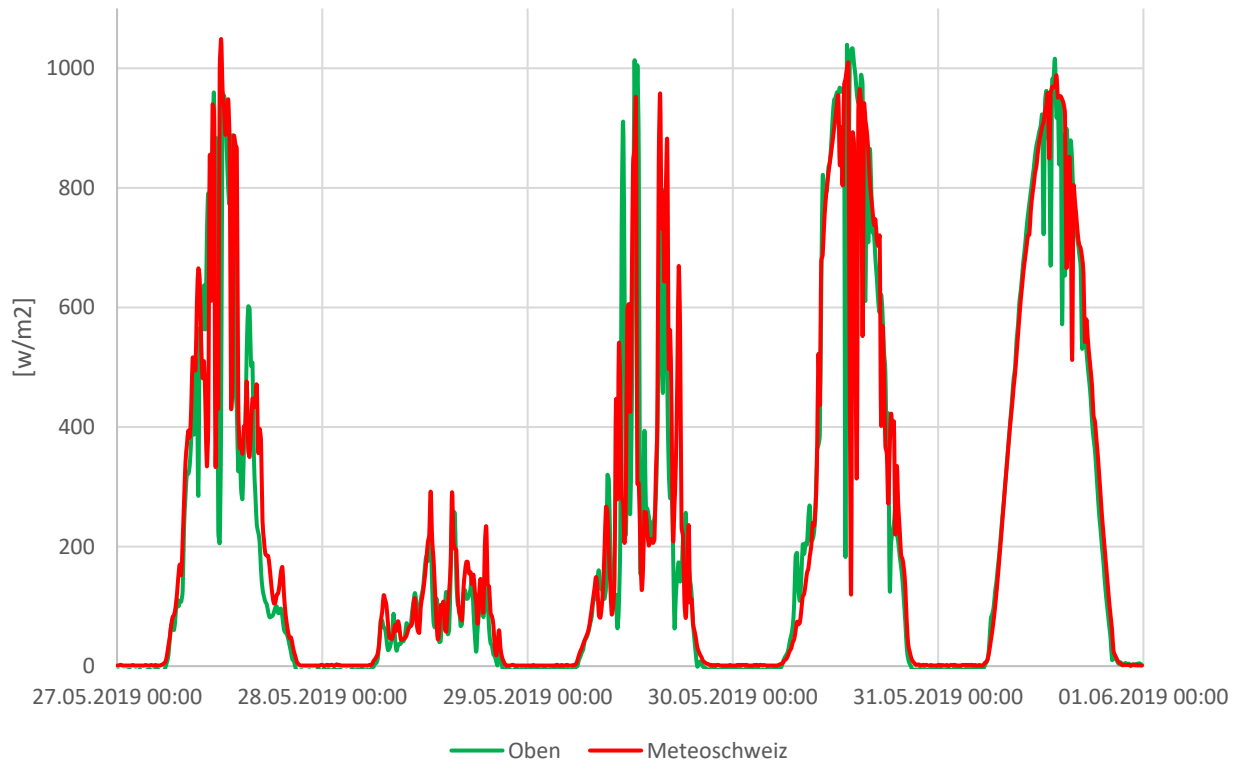




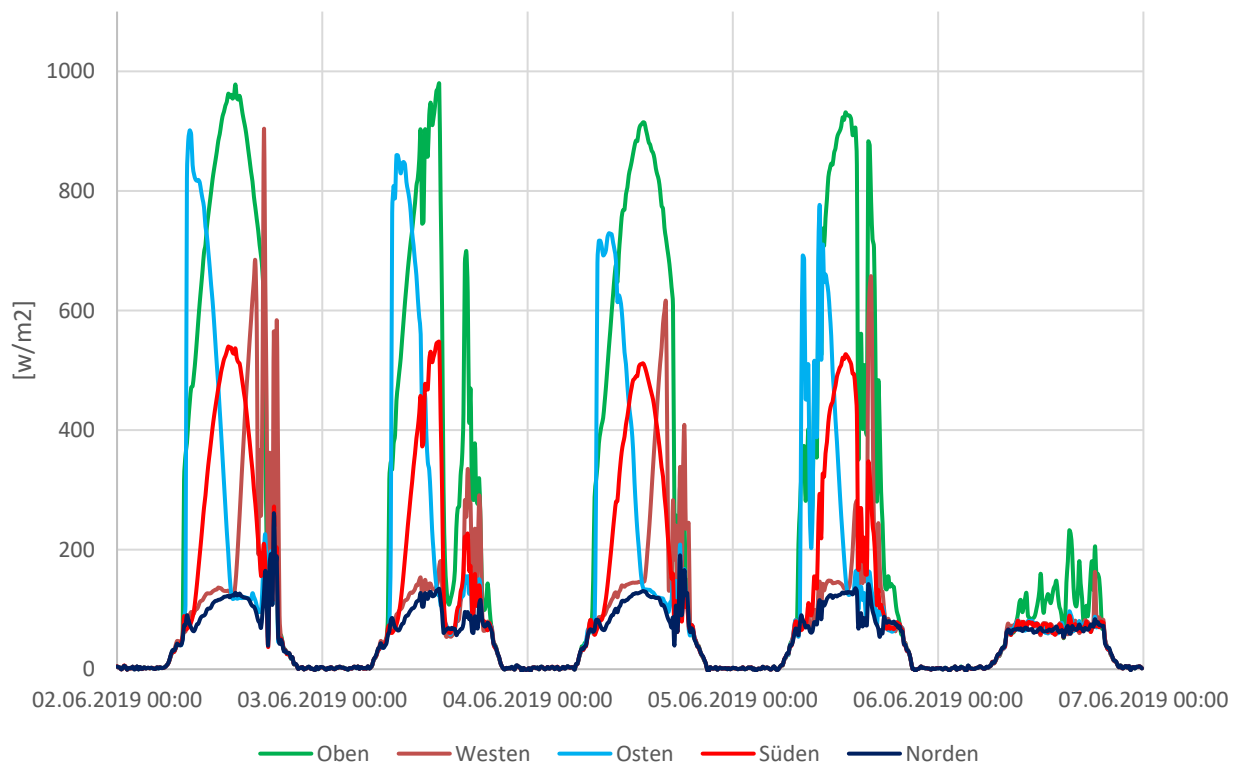
Parkplatz P2 (Messung 2):

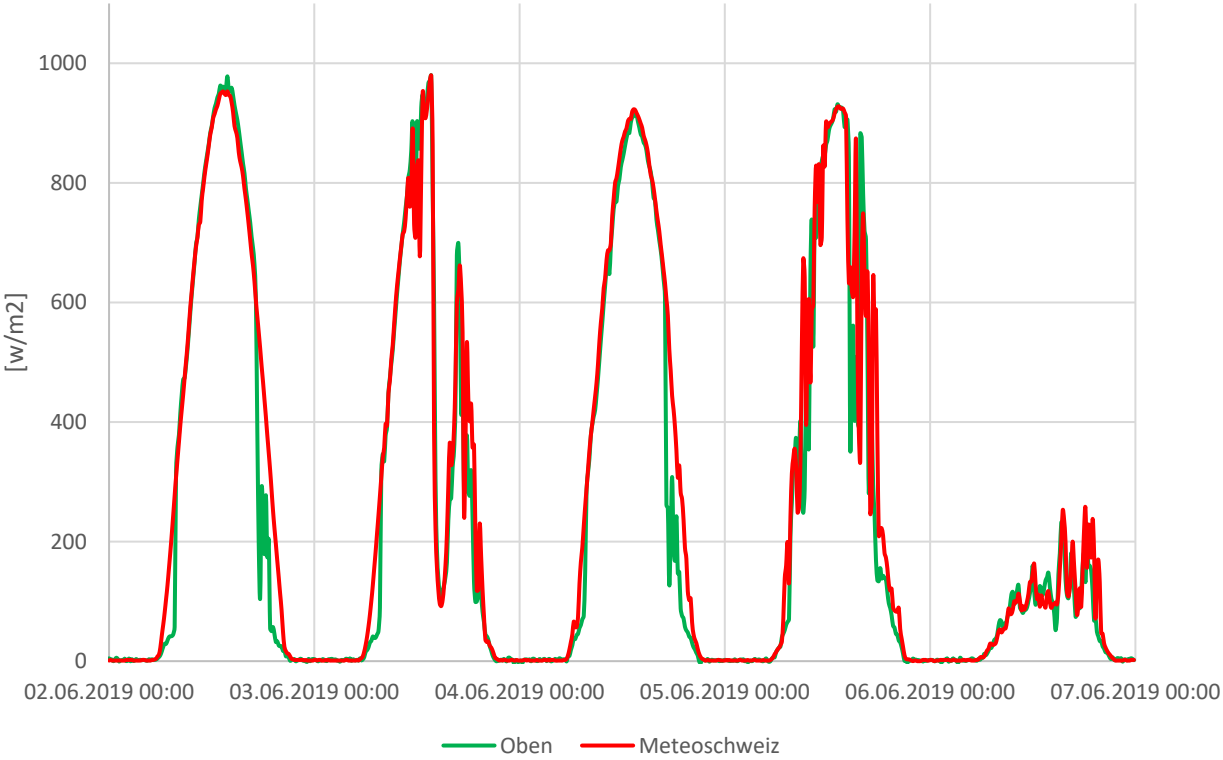






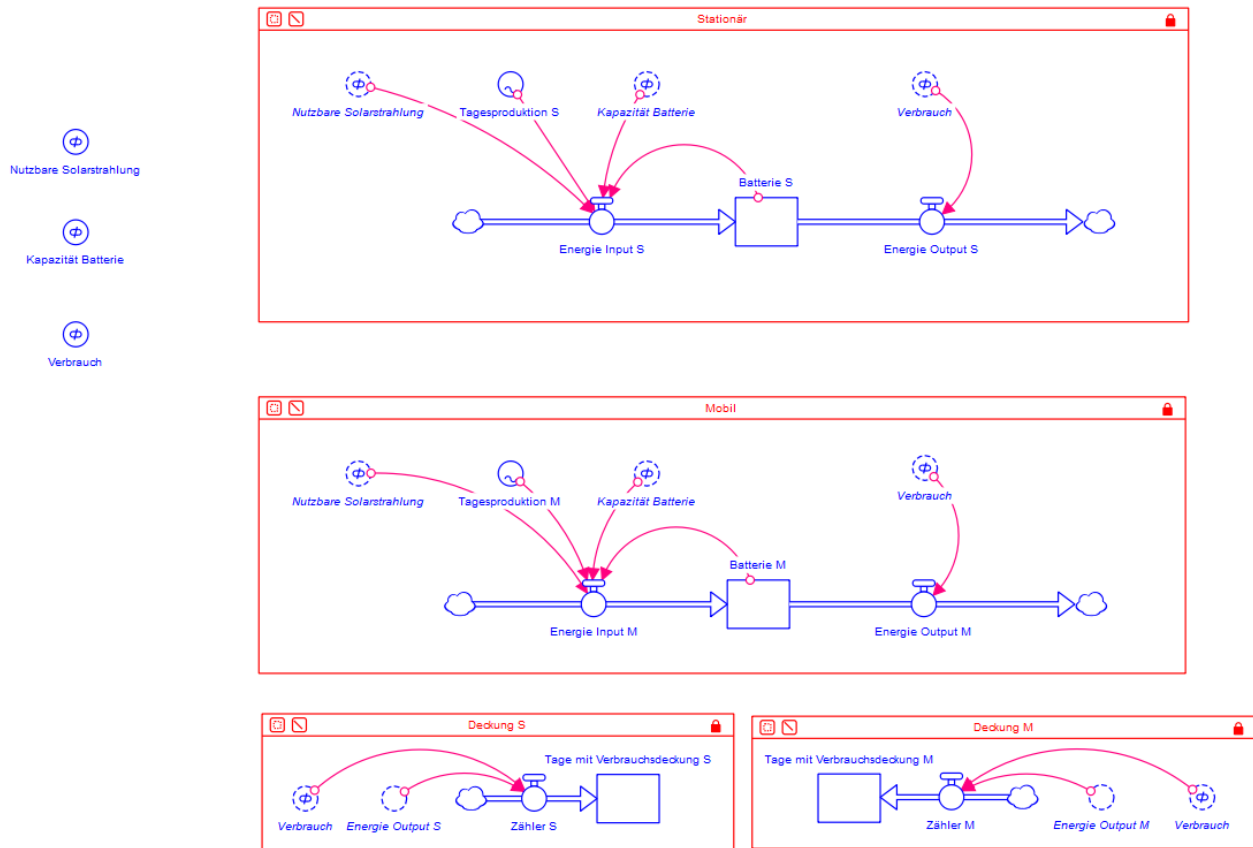
Parkplatz P3 (Messung 3):





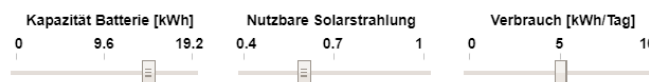
## ANHANG E

Simulation der Ladestationen mit Stella Architect : Der Energie Input in die Batterie richtet sich nach folgenden Kriterien:  $\text{MIN}(\text{Tagesproduktion}, (\text{Kapazität\_Batterie}-\text{Batterie}))$



### Kalkulator für autarke Ladestationen

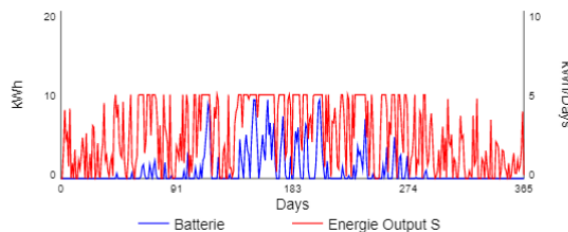
1. Start klicken. 2. Nutzbare Solarstrahlung des Standortes anpassen, durchschnittlicher Tagesverbrauch anhand der Liste einstellen oder an persönliche Bedürfnisse anpassen. Die Batteriekapazität optimieren. 3. Ergebnis ablesen: Die Anzeige beschreibt die Anzahl Tage im Jahr, an welchen die gewünschte Energie verfügbar ist. Gelb: >50%, Grün: >80% der Tage im Frühjahr, Sommer und Herbst.



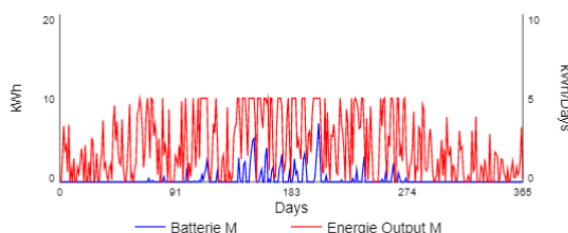
Tagesverbrauch [kWh / 36.8 km]:

BMW i3 94 Ah	6.4 (1)
Hyundai Ioniq	5.4 (1)
Hyundai Kona	7.2 (1)
Nissan Leaf II	8.1 (1)
Renault Twizy	3.8 (2)
Renault ZOE Intens	7.5 (1)
Tesla Model 3 AWD LR	7.7 (3)
Tesla Model S P90D	8.8 (1)
Tesla Model X 100D	8.8 (1)

Stationäre Ladestation



Mobile Ladestation



Berechnungen nach Glauser L. (2019)

- (1) ADAC Testwerte (12.10.2018)
- (2) Autobild Testwert (11.05.2012)
- (3) ADAC Testwert (03.07.2019)



---

# PLAGIATSERKLÄRUNG



## Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmassnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Rüti, 07.08.2019

Unterschrift:

Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Bachelorarbeiten im Anhang mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.